

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
Προσομοίωση & Σχεδιασμός Έργων Πολιτικού Μηχανικού

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας
(Turbo roundabouts)

Λέλλης Στέλιος
Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός

Επιβλέπων Καθηγητής
Ηλιού Νικόλαος, Αναπληρωτής Καθηγητής Π.Θ.

Εξεταστική Επιτροπή
Ηλιού Νικόλαος, Καθηγητής Π.Θ.
Βογιατζής Κωνσταντίνος, Αναπληρωτής Καθηγητής Π.Θ.
Κοπελιάς Παντελεήμων, Επίκουρος Καθηγητής Π.Θ.

Βόλος, Σεπτέμβριος 2017

Ευχαριστίες

Φθάνοντας στο πέρας της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους τους συντελεστές που βοήθησαν για την εκπόνηση της εργασίας αυτής.

Η ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος από τον υπεύθυνο καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας κ. Νικόλαο Ηλιού καθώς και επίδειξη υπομονής, διάθεσης αλλά και η παροχή χρήσιμων συμβουλών και υποδείξεων εκ μέρους του αποσπούν το μεγαλύτερο μέρος των ευχαριστιών μου.

Παράλληλα ευχαριστώ τους δικούς μου ανθρώπους από το οικογενειακό μου περιβάλλον για την ηθική και υλική υποστήριξη χωρίς την οποία δεν θα είχα καταφέρει να ολοκληρώσω έναν τόσο εποικοδομητικό και πλούσιο κύκλο σπουδών.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο της απόκτησης του μεταπτυχιακού διπλώματος «Προσομοίωση & Σχεδιασμός Έργων Πολιτικού Μηχανικού και έχει σαν αντικείμενο να παρουσιάσει και να εξερευνήσει λεπτομερώς τους κυκλικούς κόμβους με διαχωρισμό κυκλοφορίας (turbo roundabouts).

Στο Κεφάλαιο 1 «Εισαγωγή-Ορισμοί» δίνονται οι βασικοί ορισμοί των κυκλικών κόμβων turbo, γίνεται μια ιστορική αναδρομή και αναλύονται οι διάφοροι τύποι και χαρακτηριστικά αυτών. Επίσης γίνεται αναφορά στην τωρινή κατάσταση της Ευρώπης και του κόσμου αλλά και της Ελλάδος, στις συνθήκες μιας σωστής εγκατάστασης και τα πλεονεκτήματα να κλείνουν το συγκεκριμένο κεφάλαιο.

Στο Κεφάλαιο 2 «Κριτήρια και ανάλυση των turbo κυκλικών κόμβων» αναλύεται η διαδικασία σχεδιασμού των κυκλικών κόμβων με διάγραμμα ροής, γίνεται αναφορά στην γεωμετρία, τον τρόπο υπολογισμού της χωρητικότητας χρησιμοποιώντας διάφορα μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί, υπολογίζεται η επίδραση των πεζών, οι καθυστερήσεις και τα μήκη ουρών, συνεχίζεται με την βελτίωση της ασφάλειας αλλά και τους τύπους ατυχημάτων και τελειώνει με τον υπολογισμό της ταχύτητας της πιο σύντομης διαδρομής στον κόμβο.

Στο κεφάλαιο 3 «Θεωρητικές μελέτες των turbo κυκλικών κόμβων» παρουσιάζεται μια σύγκριση ενός turbo κυκλικού κόμβου μ' έναν συμβατό διπλής λωρίδας με σκοπό να εντοπιστούν και να κατανοηθούν οι διαφορές τους. Επίσης μελετάται η συμπεριφορά και η άποψη των οδηγών για τους turbo κυκλικούς κόμβους και τέλος κλείνει με την μελέτη εγκατάστασης εσωτερικά ή εξωτερικά μιας αστικής περιοχής.

Στο κεφάλαιο 4 «Εξοπλισμός, σήμανση και επιμέρους στοιχεία των turbo κυκλικών κόμβων» παρουσιάζονται οι πινακίδες κυκλοφορίας, η διαγράμμιση του οδοστρώματος και ο φωτισμός που απαιτείται για εγκατάσταση, συνεχίζεται με την νησίδα διαχωρισμού, κεντρική νησίδα αλλά και πεζοδιαβάσεις – ποδηλατόδρομοι και κλείνει με τα σημεία προσεγγίσεων, τα υπερυψωμένα διαχωριστικά λωρίδας και την παρακαμπτήρια οδό (bypass).

Στο κεφάλαιο 5 «Άλλοι δείκτες αποδοτικότητας» αναφέρεται στην περιβαλλοντική ευαισθησία, γίνεται υπολογισμός της αέριας ρύπανσης, συνεχίζει με την ομαλή ροή σε διάταξη σπινάλ και τις επιπτώσεις των φωτεινών σηματοδοτήσεων, και τελειώνει με την στιβαρότητα και την κίνηση μεγάλου οχήματος μέσα σε κυκλικό κόμβο turbo.

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)

Στο κεφάλαιο 6 «< Συμπεράσματα- Συστάσεις για περαιτέρω έρευνα>» αναλύονται τα συμπεράσματα που βγήκαν με το πέρας της εργασίας και γίνονται οι απαραίτητες συστάσεις για περισσότερη έρευνα στο μέλλον.

Abstract

This thesis has been prepared under the procedure for obtaining the Master's Degree of 'Simulation and Design of Civil Engineering' and has as a main object to present and to explore in details turbo roundabouts.

Chapter 1 "Introduction-Definitions" presents the basic definitions of turbo roundabouts followed by a historical reference and analysis of the different types and characteristics of turbo roundabouts. Followed by a report on the current situation in Europe, around the globe as well as in Greece and the conditions of appropriate use. Finally, a discussion of the advantages closes the chapter.

Chapter 2 "Criteria and analysis of turbo roundabouts" analyses the roundabout design procedure by using a flow chart, followed by a report about geometry, the capacity calculation using different models that have been developed, the pedestrian impact calculation, the delays calculation and the queue length calculation. Furthermore, this chapter refers to safety improvements, the types of accidents and finally closing by calculating the fastest path vehicle speed.

Chapter 3 "Theoretical studies of turbo roundabouts" presents a comparison of a turbo roundabout with a conventional roundabout to detect and understand their differences. This is followed by a study of driver behavior and their opinion on turbo roundabouts. Finally, the chapter closes with an installation survey within the outside of an urban area.

Chapter 4 "Equipment, signing and elements of turbo roundabouts" presents traffic signs, road marking and lighting that is required for installation, followed by splitter island, central island and pedestrian crossing-cycle lane and closes with the approaching area, raised lane dividers and bypasses.

Chapter 5 "Other performance indicators" covers the environmental impact with a calculation of air pollution, continues with a smooth flow in spiral array and the effects of light signals and ends with the robustness and movement of a large vehicle within a turbo roundabout.

Chapter 6 "Conclusion and further research" draws the conclusions from the work undertaken in preparing this thesis and highlights areas of further research in the future that is required.

Πίνακας Περιεχομένων

Ευχαριστίες	1
Περίληψη.....	2
Abstract.....	4
Πίνακας Περιεχομένων.....	5
Κατάλογος Πινάκων.....	7
Κατάλογος Σχημάτων / Εικόνων	8
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή-Ορισμοί.....	10
1.1 Ιστορική αναδρομή.....	13
1.2 Χαρακτηριστικά των κυκλικών κόμβων turbo.....	13
1.3 Τύποι των turbo κυκλικών κόμβων.....	14
1.4 Κατάσταση στην Ευρώπη και τον κόσμο.....	18
1.5 Κατάσταση στην Ελλάδα.....	19
1.6 Συνθήκες μίας κατάλληλης εγκατάστασης.....	20
1.7 Πλεονεκτήματα των κυκλικών κόμβων turbo.....	20
Κεφάλαιο 2 Κριτήρια και ανάλυση των turbo κυκλικών κόμβων.....	22
2.1 Διαδικασία σχεδιασμού με διάγραμμα ροής.....	22
2.2 Γεωμετρία των κυκλικών κόμβων turbo	23
2.3 Υπολογισμός της χωρητικότητας.....	27
2.4 Επίδραση των πεζών στην κίνηση.....	31
2.5 Υπολογισμός των καθυστερήσεων και του επιπέδου εξυπηρέτησης.....	33
2.6 Υπολογισμός μήκους ουρών.....	34
2.7 Βελτίωση της ασφάλειας των turbo κυκλικών κόμβων.....	35
2.7.1 Τύποι ατυχημάτων.....	37
2.8 Υπολογισμός ταχύτητας της συντομότερης πορείας του οχήματος.....	40
Κεφάλαιο 3: Θεωρητικές μελέτες των turbo κυκλικών κόμβων.....	41
3.1 Σύγκριση βασικού turbo κυκλικού κόμβου με συμβατό κυκλικό κόμβο διπλής λωρίδας.....	42
3.2 Μελέτη συμπεριφοράς των οδηγών μέσα στον turbo κυκλικό κόμβο.....	45
3.2.1 Η άποψη των οδηγών για τους turbo κυκλικούς κόμβους.....	46
3.3 Εσωτερικά ή εξωτερικά μίας αστικής περιοχής.....	47
Κεφάλαιο 4: Εξοπλισμός, σήμανση και επιμέρους στοιχεία των turbo κυκλικών κόμβων.....	48

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)

4.1 Πινακίδες κυκλοφορίας.....	49
4.1.1 Συμβατικές πινακίδες κυκλικών κόμβων.....	51
4.1.2 Διαγράμμιση του οδοστρώματος.....	56
4.2 Φωτισμός.....	56
4.3 Νησίδα διαχωρισμού.....	58
4.4 Κεντρική νησίδα.....	60
4.5 Πεζοδιαβάσεις και ποδηλατόδρομοι.....	61
4.6 Σημεία προσεγγίσεων.....	63
4.7 Υπερυψωμένα διαχωριστικά λωρίδας.....	64
4.8 Παρακαμπτήρια οδός (Bypass).....	66
Κεφάλαιο 5: Άλλοι δείκτες αποδοτικότητας.....	68
5.1 Περιβαλλοντική ευαισθησία.....	68
5.1.1 Αέρια ρύπανση και υπολογισμός των εκπομπών.....	69
5.1.2 Οπτική όχληση.....	71
5.2 Ομαλή ροή διάταξης σπινάλ.....	71
5.3 Επιπτώσεις φωτεινών σηματοδοτήσεων στον κόμβο.....	74
5.4 Στιβαρότητα.....	76
5.5 Κίνηση μεγάλου οχήματος σε κυκλικό κόμβο.....	77
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα – Συστάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	78
6.1 Συστάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	80
Βιβλιογραφία.....	82

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1	Χώρες και αριθμός των turbo κυκλικών κόμβων.....
Πίνακας 1.2	Σημεία εμπλοκής για διάφορα είδη κόμβων (Giuffrè et al. 2009).....
Πίνακας 2.1	Τυποποιημένα μεγέθη ακτίνων για τους turbo κυκλικούς κόμβους.....
Πίνακας 2.2	Επίπεδο εξυπηρέτησης.....
Πίνακας 3.1	Ποσοστά επιλογής λωρίδων από ελιγμούς σε βασικό turbo κυκλικό κόμβο.....
Πίνακας 3.2	Γνωρίσματα του εξεταζόμενου κόμβου.....
Πίνακας 5.1	Διαστάσεις βασικού turbo κυκλικού κόμβου.....
Πίνακας 6.1	Τα συμπεράσματα της διεθνής επιστημονικής κοινότητας περί ασφάλειας στους turbo κυκλικούς κόμβους.....

Κατάλογος Σχημάτων/ Εικόνων

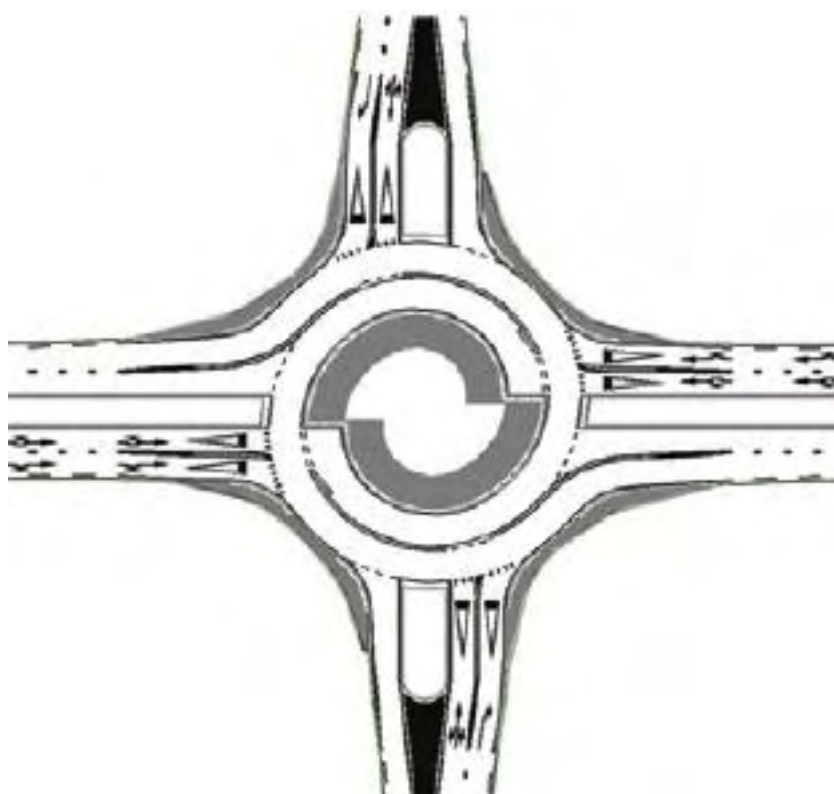
Σχήμα 1.1	Βασικός turbo κυκλικός κόμβος.....
Εικόνα1.2	Υπερυψωμένα διαχωριστικά στοιχεία.....
Σχήμα 1.3	Πιθανός συνδυασμός εισόδων και εξόδων ενός turbo κυκλικού κόμβου.....
Σχήμα 1.4	Χαρακτηριστικά των turbo κυκλικών κόμβων.....
Σχήμα 1.5	Τύποι turbo κυκλικών κόμβων (Fortujin 2009).....
Σχήμα 1.5.1	Τύποι turbo κυκλικών κόμβων (Fortujin 2009).....
Σχήμα 1.5.2	Τύποι turbo κυκλικών κόμβων (Fortujin 2009).....
Σχήμα 1.6	Σύγκριση εμπλεκόμενων σημείων ενός κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων και turbo κυκλικού κόμβου.....
Σχήμα 2.1	Διαδικασία σχεδιασμού ενός κυκλικού κόμβου.....
Σχήμα 2.2	Γεωμετρικός σχεδιασμός του turbo κυκλικού κόμβου.....
Σχήμα 2.3	Το σπινάλι του Αρχιμήδη.....
Σχήμα 2.4	Χωρητικότητα λωρίδας.....
Σχήμα 2.5	Χωρητικότητα εισόδου.....
Σχήμα 2.6	Σύγκριση μεταξύ μοντέλων χωρητικότητας για λωρίδες εισόδου και τιμών δείκτη μείωσης χωρητικότητας.....
Σχήμα 2.7	Χωρητικότητα εισόδου και μέση καθυστέρηση σε συνάρτηση των ροών εισόδων και των ροών.....
Σχήμα 2.8	Βέλτιστη βολική πορεία α) συμβατός κόμβος διπλής λωρίδας β) turbo κυκλικός κόμβος.....
Σχήμα 2.9	Σύγκριση δεικτών κόστους ατυχήματος για υπεραστικό σπειροειδή κόμβο κοντά στην πόλη Baden-Baden (Brilon 2011).....
Σχήμα 2.10	Σύγκρουση εντός του δακτυλίου λόγω λάθους στην επιλογή λωρίδας.....
Σχήμα 2.10.1	Σύγκρουση κατά την έξοδο από λάθος επιλογή λωρίδας.....
Σχήμα 2.10.2	Σύγκρουση κατά την έξοδο λόγω λάθους επιλογή λωρίδας από την έναρξη εισόδου στον δακτύλιο.....
Σχήμα 2.11	Σημεία εμπλοκής οχημάτων-πεζών.....
Σχήμα 3.1	Παράδειγμα τομέα καταλληλότητας για την περίπτωση 1.....
Σχήμα 3.1.1	Παράδειγμα τομέα καταλληλότητας για την περίπτωση 2.....
Σχήμα 3.1.2	Παράδειγμα τομέα καταλληλότητας για την περίπτωση 3.....
Εικόνα4.1	Παράδειγμα εξοπλισμού κυκλικού κόμβου turbo.....
Σχήμα 4.2	Παράδειγμα πινακίδων πριν την είσοδο στον κόμβο πολλαπλών λωρίδων..

Εικόνα4.3	Πινακίδα ενημέρωσης παρουσίας κόμβου στις Η.Π.Α.....
Σχήμα 4.4	Συμβατικές και διαγραμματικές πινακίδες καθοδήγησης.....
Σχήμα 4.5	Παράδειγμα πινακίδων στάνταρντ και αγκίστρι.....
Εικόνα 4.6	Πινακίδα παραμονής στην δεξιά λωρίδα (keep right).....
Εικόνα4.7	Πινακίδα προειδοποίησης πεζών.....
Εικόνα4.8	Πινακίδα προτεραιότητας (yield).....
Εικόνα4.9	Βέλη κατεύθυνσης επί της κεντρικής νησίδας.....
Εικόνα4.10	Πινακίδες εξόδου στο Ηνωμένο Βασίλειο.....
Σχήμα 4.11	Βέλη σήμανσης που χρησιμοποιούνται στις λωρίδες εισόδου.....
Εικόνα 4.12	Φωτισμός σε κυκλικό κόμβο.....
Σχήμα 4.13	Ελάχιστες διαστάσεις μιας νησίδας διαχωρισμού.....
Εικόνα 4.14	Turbo κυκλικός κόμβος στην Ολλανδία με ύπαρξη πρασίνου στις νησίδες διαχωρισμού.....
Εικόνα 4.15	Turbo κυκλικός κόμβος στο Άμστερνταμ με προσκολλημένη διασχιζόμενη επιφάνεια στην κεντρική νησίδα.....
Εικόνα 4.16	Ποδηλατόδρομος διασχίζει την νησίδα διαχωρισμού σε turbo κυκλικό κόμβο.....
Σχήμα 4.17	Αναπαράσταση προσθήκης ειδικά σχεδιασμένου υλικού στην αρχή των διαχωριστικών λωρίδας.....
Εικόνα4.18	Υπερυψωμένο διαχωριστικό λωρίδας κατά την είσοδο.....
Εικόνα4.19	Υπερυψωμένο διαχωριστικό λωρίδας κατά την έξοδο.....
Σχήμα 4.20	Τύποι παρακαμπτήριων οδών.....
Εικόνα4.21	Παράδειγμα bypass.....
Εικόνα5.1	Κόμβος με σπιράλ διάταξη.....
Σχήμα 5.2	Λεπτομέρεια Turbo block.....
Σχήμα 5.3	Παράδειγμα τομής οδοστρώματος.....
Εικόνα5.4	Είσοδος μεγάλου οχήματος σε κυκλικό κόμβο turbo.....

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή-Ορισμοί

Ορισμός 1) Ως κυκλικοί κόμβοι turbo ονομάζονται οι διευθετημένες οβάλ διασταυρώσεις με μια μη διασχίσιμη ή μερικώς διασχίσιμη κεντρική νησίδα και με σπирάλ κυκλοφοριακό δακτύλιο έχοντας τρία ή περισσότερα τμήματα με πολλαπλά κέντρα εξωτερικής και εσωτερικής διαμέτρου.

Ορισμός 2) Οι turbo κυκλικοί κόμβοι είναι ένα καινοτόμο σχέδιο πολλαπλής λωρίδας και αποτελούν έναν συγκεκριμένο τύπο κυκλικού κόμβου όπου οι κατευθύνσεις κίνησης είναι χωρισμένες σε φυσικές ξέχωρες λωρίδες.



Σχήμα 1.1: Βασικός κυκλικός κόμβος turbo

Στους κυκλικούς κόμβους Turbo η ροή κίνησης των οχημάτων ακολουθείται ξεχωριστά ακόμα και πριν την είσοδο στον κόμβο διατηρώντας ξέχωρη λωρίδα καθ' όλη την διάρκεια μέσα στον κόμβο αλλά και κατά την έξοδο τους απ' αυτόν. Ο φυσικός διαχωρισμός των λωρίδων διακόπτεται μόνο μέσα σε τμήματα εισόδου στο

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)

εσωτερικό του και διαμορφώνεται από ειδικά υπερυψωμένα διαχωριστικά στοιχεία που εμποδίζουν την αλλαγή λωρίδας.



Εικόνα 1.2 Υπερυψωμένα διαχωριστικά στοιχεία

Ο οδηγός πρέπει να αποφασίσει για την κατεύθυνση εξόδου του πριν από την είσοδο του στον κόμβο ή ακόμη πιο πριν της εισόδου του. Έτσι αφού αποφασιστεί η λωρίδα εξόδου ύστερα δεν μπορεί να γίνει αλλαγή της απόφασης αφού ο turbo κυκλικός κόμβος απαγορεύει ρητά τις αλλαγές των λωρίδων κίνησης στον κυκλοφοριακό δακτύλιο. Οι πιθανές κατευθύνσεις μέσα στον κόμβο αλλά και οι πιθανοί εξόδοι δίνονται από πινακίδες στην είσοδο ενώ οι οδηγοί πρέπει να καθοδηγούνται από κατανοητές πινακίδες και διαγραμμίσεις επί των δρόμων.

	Z1	Z2	Z3	Z4
Λωρίδες εισόδου:				
	A1	A2	A3	A4
Λωρίδες εξόδου:				

Σχήμα 1.3 Πιθανός συνδυασμός εισόδων και εξόδων ενός κυκλικού κόμβου turbo:

Κεντρική νησίδα του turbo κυκλικού κόμβου: Είναι η υπερυψωμένη σπιράλ επιφάνεια πρασίνου στο κέντρο του κόμβου γύρω από την οποία συνήθως διεξάγεται η κυκλοφορία.

Turbo μπλοκ: Το γεωμετρικό σχήμα της σπειροειδούς τροχιάς προκύπτει απ' την ταυτόχρονη ανάπτυξη δύο ένθετων σπειρών κάθε μία με τρία τμήματα κυκλικών τόξων με συνεχόμενες μεγαλύτερες ακτίνες και με τα κέντρα τους στα αριστερά και δεξιά από το γεωμετρικό κέντρο του σπειροειδούς κυκλικού κόμβου. Κάθε απόκλιση μέσα στην ακτίνα πρέπει ν' αντιστοιχίζεται με μετατόπιση του κέντρου της πάνω σε μία ευθεία που ονομάζεται άξονας μετάθεσης ώστε η σπείρα να παραμένει συνεχής. Το διάγραμμα αυτό που συγκεντρώνει τις σπείρες αυτές πάνω στο τμήμα του άξονα μετάθεσης λέγεται Σπειροειδές τετράγωνο (Turbo block)

Σκέλη κόμβου: Αποτελούν τα οδικά τμήματα με πρόσβαση στον κόμβο τα οποία μπορούν να είναι τρία ή τέσσερα αλλά και περισσότερα υπό ορισμένες συνθήκες.

Νησίδα διαχωρισμού: Μια υπερυψωμένη επιφάνεια με κράσπεδα με σκοπό τον διαχωρισμό της εισερχόμενης από την εξερχόμενη κυκλοφορία, να διοχετεύει και να επιβραδύνει την εισερχόμενη κυκλοφορία αλλά και να προσφέρει χώρο αναμονής στους πεζούς που διασχίζουν τον δρόμο σε δύο στάδια.

Δακτύλιος κυκλοφορίας: Η επιφάνεια οδοστρώματος στην οποία τα οχήματα κινούνται αντίθετα κατά την φορά του ρολογιού (αριστερόστροφα) γύρω απ' την νησίδα του κόμβου.

Γραμμή εισόδου: Είναι η εγκάρσια διαγράμμιση του οδοστρώματος που χρησιμοποιείται για να οριστεί το σημείο εισόδου στον δακτύλιο και τοποθετείται στην εξωτερική περίμετρο του δακτυλίου.

Εγκάρσιες διαβάσεις πεζών και ποδηλατών: Απαιτούνται σε αστικό περιβάλλον ώστε να επιτρέπουν την διέλευση και σε ΑΜΕΑ.

Διαμόρφωση τοπίου: Όταν ο κόμβος αναπτύσσεται σε αστικό περιβάλλον μεταξύ του πεζοδρομίου και του δακτυλίου όπως και επί της κεντρικής νησίδας δημιουργείται μια ζώνη χαμηλού πρασίνου που διαχωρίζει τους πεζούς από τα

οχήματα ενώ κατευθύνει τους πεζούς να διασχίσουν τον κόμβο από τις προβλεπόμενες διαβάσεις, συνεισφέροντας παράλληλα στην αισθητική του κόμβου.

1.1 Ιστορική αναδρομή

Η ιδέα του κυκλικού κόμβου turbo αναπτύχθηκε το 1996 στην Ολλανδία από τον Bertus Fortuijn έναν ερευνητή από το πανεπιστήμιο του Delft που στόχευε να λύσει τα προβλήματα των συμβατών κυκλικών κόμβων. Η μεγάλη πρόκληση που αντιμετώπισε ήταν να αναπτύξει έναν τύπο κυκλικού κόμβου με τουλάχιστον την ίδια ή μεγαλύτερη χωρητικότητα από αυτήν των συμβατών κυκλικών κόμβων διπλής λωρίδας αλλά με τα ίδια χαρακτηριστικά ασφαλείας όπως ένας κυκλικός κόμβος μονής λωρίδας. Ο 1^{ος} κυκλικός κόμβος turbo κατασκευάστηκε το 2000 στην Ολλανδία, ενώ μέχρι το έτος 2007 ήταν ήδη σε λειτουργία 70. Άλλες χώρες όπως η Πολωνία, η Γερμανία, η Τσεχία, η Ουγγαρία, το Βέλγιο αλλά και χώρες της πρώην Γιουγκοσλαβίας έχουν εφαρμόσει τον συγκεκριμένο τύπο κυκλικού κόμβου. Από τότε, πάνω από 190 έργα κυκλικών κόμβων turbo υλοποιήθηκαν στην Ολλανδία ενώ η Ολλανδική κυβέρνηση αποφάσισε να μην κατασκευάζει πλέον συμβατούς κόμβους και υιοθέτησε τους κυκλικούς κόμβους turbo σαν πάγια πρακτική.

1.2 Χαρακτηριστικά των κυκλικών κόμβων turbo.

Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός τυπικού κυκλικού κόμβου turbo είναι τα εξής:

- 1) Σε τουλάχιστον μία είσοδο εισάγεται μία επιπλέον λωρίδα κυκλοφορίας στον δακτύλιο του κόμβου (χαρακτηριστικό χωρητικότητας-ικανότητας).
- 2) Οι εισερχόμενοι οδηγοί που πλησιάζουν τον κόμβο παραχωρούν προτεραιότητα το πολύ σε δύο λωρίδες κυκλοφορίας (χαρακτηριστικό ασφαλείας).
- 3) Ομαλή ροή κυκλοφορίας αποτέλεσμα της άρτιας εφαρμογής σπειροειδούς διάταξης (χαρακτηριστικό ασφαλείας).
- 4) Υπερυψωμένα διαμήκη διαχωριστικά στοιχεία αποτρέπουν τους ανυπόμονους οδηγούς από την απότομη αλλαγής λωρίδας εντός του κόμβου (χαρακτηριστικό ασφαλείας).

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)

- 5) Κάθε τμήμα του σπειροειδούς κόμβου περιλαμβάνει μία λωρίδα, που επιτρέπει είτε την ευθεία κίνηση είτε την έξοδο από τον κυκλικό κόμβο.
- 6) Οι εξοδοί τουλάχιστον δύο σκελών να διαθέτουν δύο λωρίδες (χαρακτηριστικό χωρητικότητας-ικανότητας).
- 7) Η διάμετρος του κόμβου διατηρείται μικρή, δημιουργώντας βέλτιστης καμπυλότητας τροχίες κίνησης των οχημάτων (χαρακτηριστικό ασφάλειας).
- 8) Τα σκέλη προσεγγίσεως είναι σε ορθή γωνία με τον κυκλικό κόμβο.
- 9) Οι πινακίδες πάνω στην κεντρική νησίδα τραβούν την προσοχή απ' τον ορίζοντα.
- 10) Βατές ειδικά διαμορφωμένες ζώνες περιμετρικά της κεντρικής νησίδας (aprons) παρέχουν επαρκές εύρος για βαρέα οχήματα που επιθυμούν να χρησιμοποιήσουν τον κόμβο.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά απεικονίζονται στο σχήμα 1.4



Σχήμα 1.4 Χαρακτηριστικά κυκλικών κόμβων turbo

1.3 Τύποι κυκλικών κόμβων turbo.

Υπάρχουν αρκετοί τύποι-παραλλαγές των κυκλικών κόμβων turbo αφού διαμορφώνονται αλλάζοντας τον αριθμό λωρίδων στην είσοδο και έξοδο τους σε τρισκελής και τετρασκελής. Σε περιπτώσεις κίνησης χαμηλής έντασης η ύπαρξη δύο λωρίδων (εισόδου-εξόδου) δεν εφαρμόζεται. Αυτό από την μεριά της ασφάλειας του ποδηλάτη είναι πιο αρεστό να γίνει στο πιο μικρό σκέλος ως μονή λωρίδα. Αυτήν ήταν και η 1^η μορφή των κυκλικών κόμβων turbo που αναπτύχθηκε και στην οποία

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)

δόθηκε το όνομα κυκλικός κόμβος τύπου αυγού. Ο συγκεκριμένος τύπος έχει το γνώρισμα ότι ο αριθμός των λωρίδων στην πλευρά των σκελών διαφέρει από αυτόν του κυκλικού κόμβου και έτσι συγκαταλέγεται στην κατηγορία των κύριων τύπων των κυκλικών κόμβων turbo αφού χρησιμοποιείται ευρέως.

Έτσι ξέχωρα από τον τύπο ‘αυγό’, όλοι οι άλλοι τύποι συναντούν τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά όπου ο αριθμός των λωρίδων στα σκέλη ανταποκρίνεται σε αυτόν των εκάστοτε κυκλικών κόμβων. Έτσι οι διάφορες μορφές των κυκλικών κόμβων turbo είναι:

Με τρία ή τέσσερα σκέλη

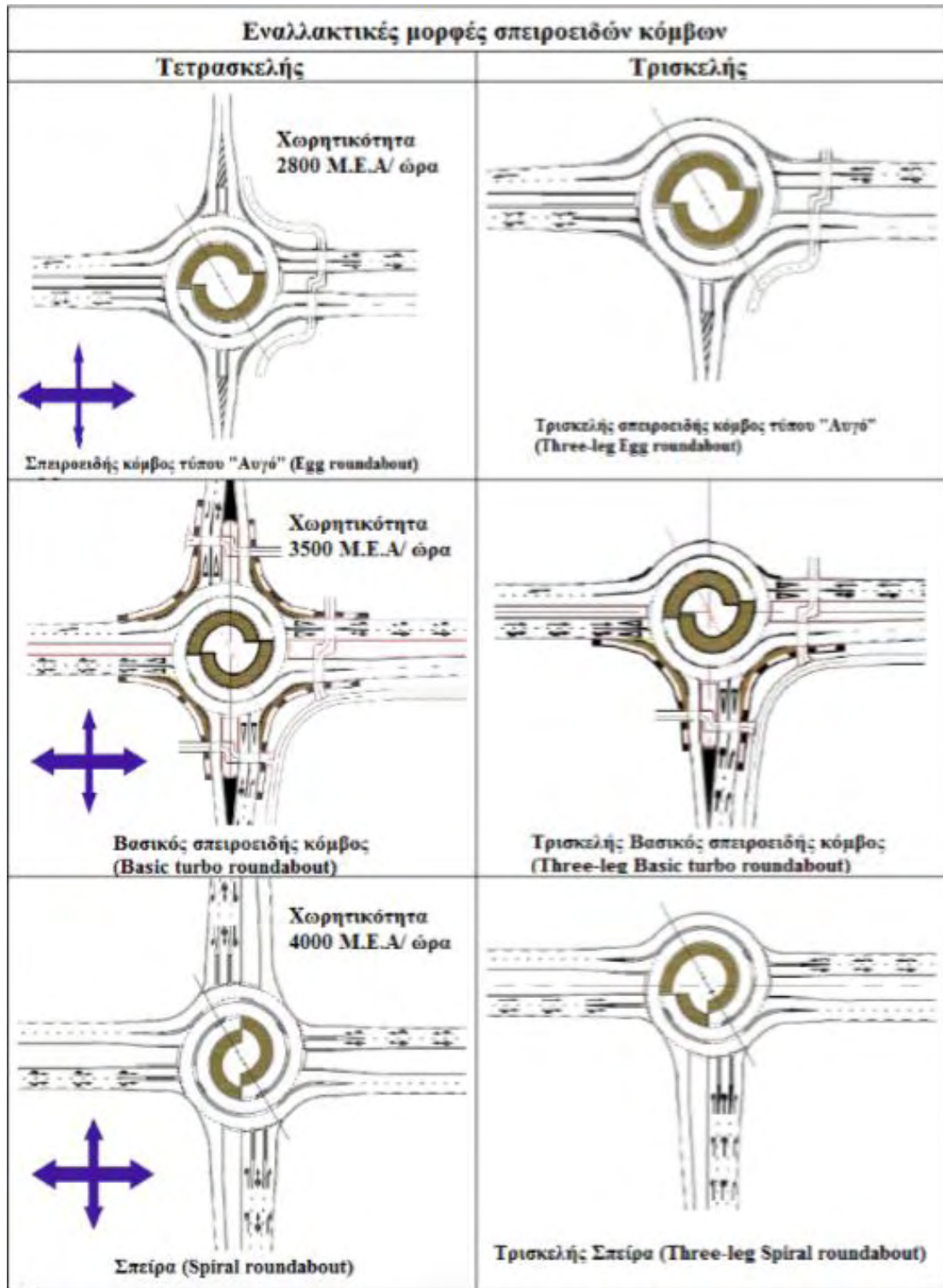
- 1) Κυκλικός κόμβος τύπου ‘αυγού’
- 2) Βασικός κυκλικός κόμβος turbo
- 3) Κυκλικός κόμβος τύπου ‘σπιράλ’
- 4) Κυκλικός κόμβος τύπου ‘γόνατο’
- 5) Κυκλικός κόμβος τύπου ‘ρότορα’ (λιγότερο κατάλληλος για τρισκελή κόμβο)

Με τρία σκέλη μόνο

- 1) Κυκλικός κόμβος τύπου ‘δια-τεταμένο γόνατο’
- 2) Κυκλικός κόμβος τύπου ‘Αστέρι’

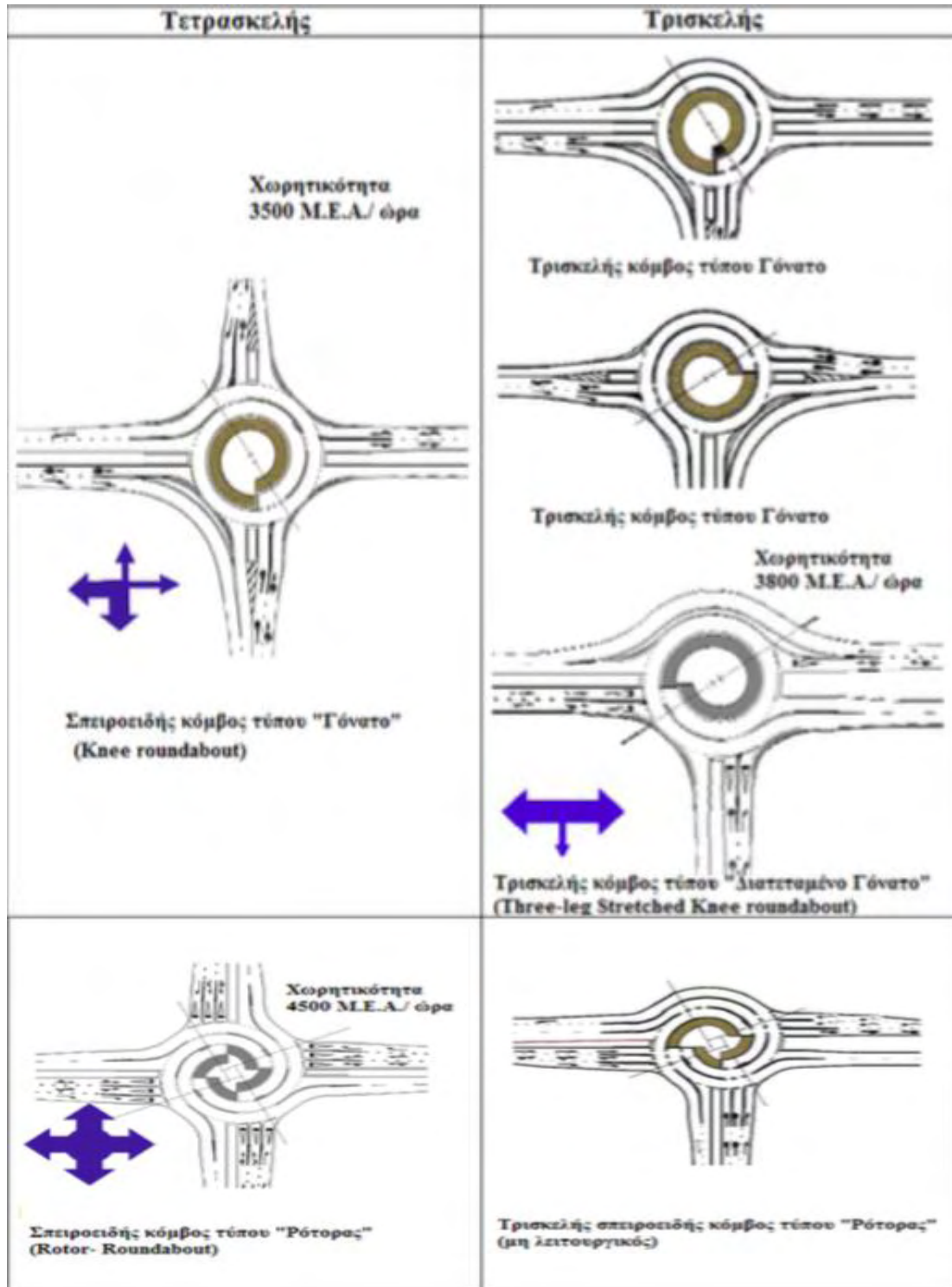
Οι ακόλουθες φωτογραφίες απεικονίζουν την χωρητικότητα και τα σχήματα των διαφόρων τύπων κυκλικών κόμβων turbo :

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)

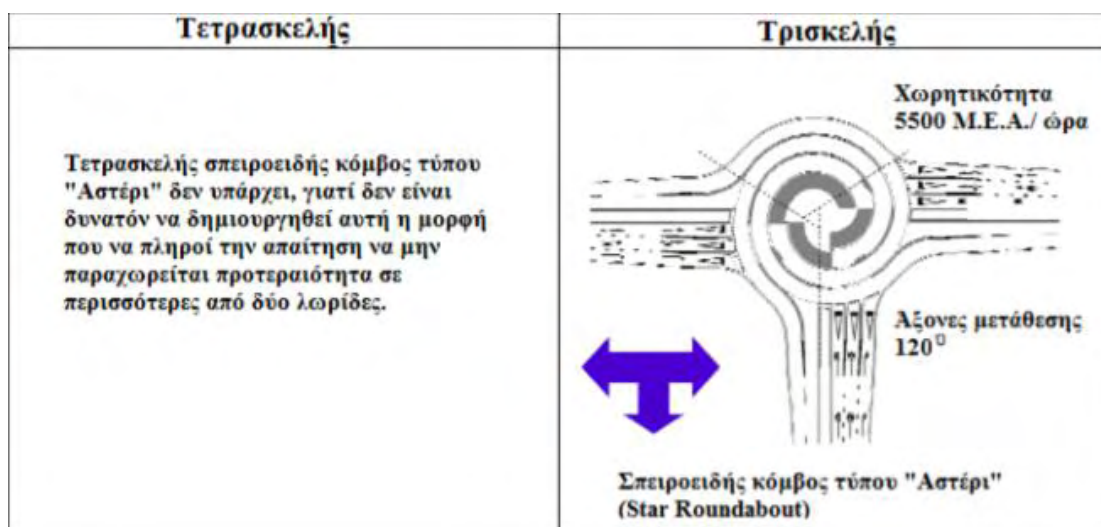


Σχήμα 1.5 Τύποι κυκλικών κόμβων turbo (Fortuijn 2009)

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)



Σχήμα 1.5.1 Τύποι κυκλικών κόμβων turbo (Fortujin 2009)



Σχήμα 1.5.2 Τύποι κυκλικών κόμβων turbo (Fortuijn 2009)

1.4 Κατάσταση στην Ευρώπη και τον κόσμο

Σύμφωνα με τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από το διαδίκτυο και συγκεκριμένα από την σελίδα www.dirkdebaan.nl αυτήν την στιγμή υπάρχουν 435 κυκλικοί κόμβοι turbo όπου βρίσκονται διασκορπισμένοι σε 22 χώρες στην Ευρώπη, βόρεια και νότια Αμερική αλλά και Νότια Αφρική. Οι περισσότεροι είναι κατασκευασμένοι στην Ολλανδία (324) χώρα όπου ο συγκεκριμένος κυκλικός κόμβος αναπτύχθηκε και κατασκευάστηκε. Ακόμη χώρες με αξιοσημείωτο αριθμό κυκλικών κόμβων turbo είναι οι: Πολωνία 35, Γερμανία 12, Σλοβενία 12, Τσεχία 10 και Ουγγαρία 7. Υπάρχουν ωστόσο κάποιες διαφορές στα πρότυπα που εφαρμόζονται ανά χώρα. Συγκεκριμένα, η Γερμανία εν αντιθέσει των προδιαγραφών της Ολλανδίας που δεν προτιμά τις υπερυψωμένες διαχωριστικές νησίδες τύπου curb (από σκληρό καουτσούκ) των λωρίδων εντός του κόμβου αλλά την απλή διαγράμμιση κυρίως για την διευκόλυνση των εκχιονιστικών μηχανημάτων (Brilon 2011).

Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει αναλυτικά τις χώρες και τον αριθμό των turbo κυκλικών κόμβων που καταγράφηκαν έως και τις 26 Μαρτίου 2017.

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)

Χώρες		Αριθμός κυκλικών κόμβων turbo
Αρούμπα		4
Βέλγιο		2
Γερμανία		12
Εσθονία		3
Ουγγαρία		7
Λιθουανία		2
Ολλανδία		324
Αυστρία		2
Πολωνία		35
Ρουμανία		3
Σλοβενία		12
Ισπανία		2
Αμερική		3
Νότια Αφρική		1
Καναδάς		2
Τσέχικη Δημοκρατία		10
Κροατία		4
Fyrom		1
Βοσνία		1
Μεγάλη Βρετανία		1
Σλοβακία		3
Λουξεμβούργο		1
Σύνολο:	22	435

***Πίνακας 1.1** Χώρες και αριθμός των κυκλικών κόμβων turbo*

1.5 Κατάσταση στην Ελλάδα

Δυστυχώς η Ελλάδα δεν διαθέτει ακόμα κάποιον κυκλικό κόμβο turbo. Οι όποιες θεωρίες για την κατασκευή τους έχουν μείνει σε θεωρητικό επίπεδο καθώς και η κρίση που μαστίζει την χώρα μας παίζει και αυτήν το ρόλο της ώστε να της έχει επιτρέψει να ανταγωνιστεί άλλες Ευρωπαϊκές χώρες και μη. Έχοντας κατά νου την εξέλιξη της τεχνολογίας, την αύξηση των κοινωνικών απαιτήσεων (ποιότητα ζωής), και την μελλοντική βελτίωση των οικονομικών δεδομένων η Ελλάδα πρέπει να αναπτυχθεί στον τομέα αυτόν ώστε να βελτιώσει οδική ασφάλεια, κυκλοφοριακή ικανότητα και περιβαλλοντολογική προσαρμογή.

1.6 Συνθήκες μίας κατάλληλης εγκατάστασης

Ο κυκλικός κόμβος turbo είναι μια κατάλληλη λύση σε περιοχές έξω από αστικά κέντρα όταν υπάρχει ένας κύριος και ένας πλευρικός δρόμος όσον αφορά την ένταση της κυκλοφοριακής ροής. Από την άλλη είναι κατάλληλος σε αστική περιοχή αν εξετάζεται ο κόμβος με δύο εισόδους και δύο εξόδους αλλά θα πρέπει να λυθεί πρώτα το πρόβλημα της κίνησης ασφάλειας των μη οδηγών.

Έτσι ο κυκλικός κόμβος turbo είναι μία κατάλληλη λύση στις περιπτώσεις των:

A) Υφιστάμενων κυκλοφοριακών συμφορήσεων μίας λωρίδας κυκλικού κόμβου (μεγέθους της εξωτερικής ακτίνας) που επιτρέπει την εφαρμογή μίας πρόσθετης κυκλοφοριακής λωρίδας προς τα μέσα που είναι η καλύτερη επιλογή ή υπάρχει χώρος που επιτρέπει την εφαρμογή κάποιας άλλης κυκλοφοριακής λωρίδας προς τα έξω που εφαρμόζεται λιγότερο μιας και είναι πιο ακριβή λύση.

B) Υπαρχουσών κυκλοφοριακών συμφορήσεων ενός κυκλικού κόμβου διπλής λωρίδας.

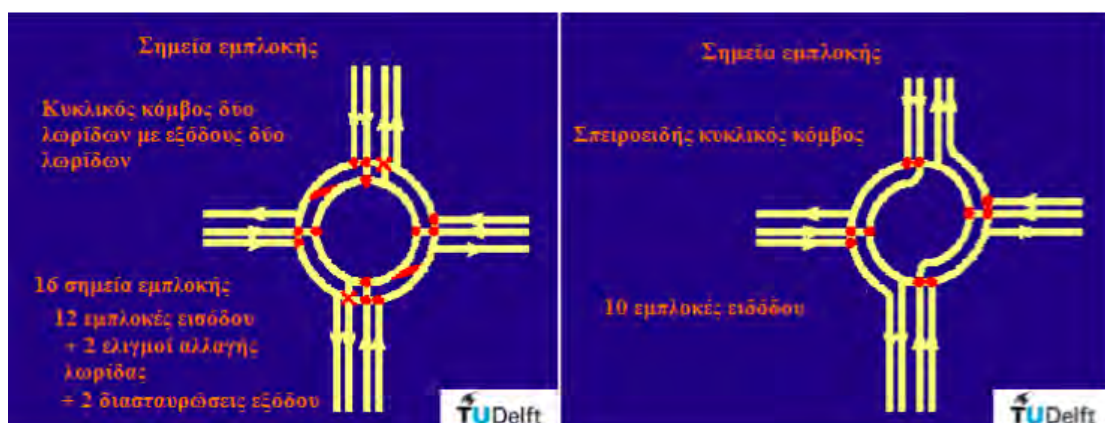
Γ) Ανακατασκευών μιας κλασσικής διασταύρωσης με πολύ υψηλή κυκλοφοριακή συμφόρηση.

1.7 Πλεονεκτήματα των κυκλικών κόμβων turbo.

Οι κυκλικοί κόμβοι turbo χρησιμοποιούνται στις μέρες μας ευρέως και έχουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλους μοντέρνους κυκλικούς κόμβους:

1) Μείωση της ταχύτητας στην είσοδο, μέσα στον κόμβο αλλά και στην έξοδο, ένας παράγοντας που παίζει σημαντικό ρόλο στην γεωμετρία του κυκλικού κόμβου αλλά και στην ασφάλεια της κυκλοφορίας.

2) Μείωση των σημείων εμπλοκής. Παραδείγματος χάρη από 16 ενός ομόκεντρου κόμβου δύο λωρίδων κατεβαίνει σε 10 για τον βασικό κυκλικό κόμβο turbo προσφέροντας έτσι προστασία στους πεζούς.



Σχήμα 1.6 Σύγκριση σημείων εμπλοκής ενός κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων και κυκλικού κόμβου turbo

Αριθμός σκελών	Μη σηματοδοτημένη διασταύρωση	Κυκλικός κόμβος δύο λωρίδων	Σπειροειδής κόμβος
3	9	12	7
4	32	16	10

Πίνακας 1.2 Σημεία εμπλοκής για διάφορα είδη κόμβων (Giuffrè et al. 2009)

3) Χαμηλό ρίσκο πλευρικής σύγκρουσης αφού είναι τοποθετημένα υπερυψωμένα διαχωριστικά που χωρίζουν την κίνηση των οχημάτων σε διαφορετικές λωρίδες. Έχει καταγραφεί ποσοστό μείωσης της τάξης του 80%.

4) Η χωρητικότητα των κυκλικών κόμβων turbo έχει καταγραφεί 25% έως 35% υψηλότερη απ' ότι οι κυκλικοί κόμβοι διπλής λωρίδας.

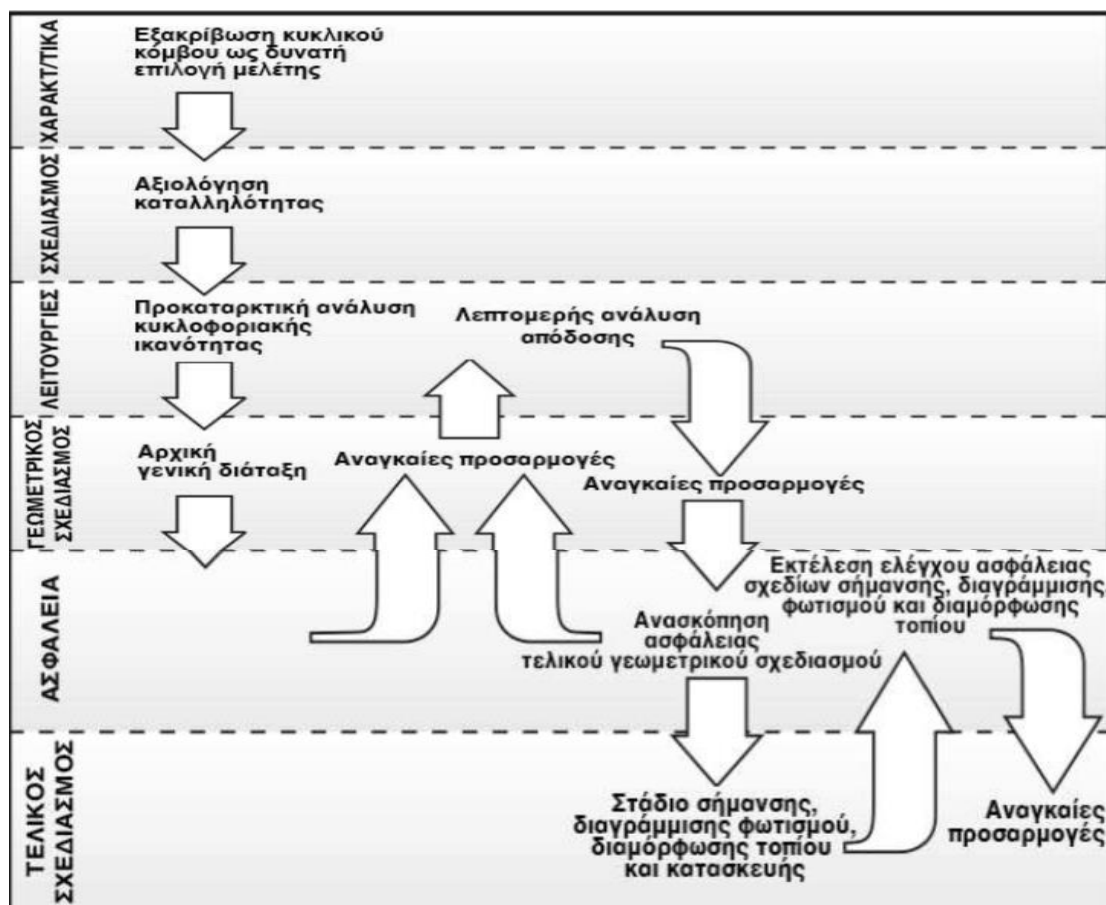
5) Μείωση των καθυστερήσεων. Αφού η χωρητικότητα των κυκλικών κόμβων turbo είναι υψηλότερη από την χωρητικότητα των συμβατών κυκλικών κόμβων, φυσικό επακόλουθο είναι να μειώνεται η καθυστέρηση (Cambell 2012).

6) Τα κόστη κύκλου ζωής και συντήρησης είναι χαμηλότερα από τα κόστη ενός συμβατού κυκλικού κόμβου αλλά τα κόστη κατασκευής είναι κατά 10% με 15% πιο ψηλά.

Κεφάλαιο 2. Κριτήρια και ανάλυση των κυκλικών κόμβων turbo.

2.1 Διαδικασία σχεδιασμού με διάγραμμα ροής

Το ακόλουθο διάγραμμα ροής αποτυπώνει την διαδικασία σχεδιασμού ενός κυκλικού κόμβου turbo. Γενικά η διαδικασία σχεδιασμού απαιτεί έναν σημαντικό αριθμό προσεγγίσεων στην ανάλυση, την γεωμετρία και την ασφάλεια. Ο μηχανικός-μελετητής θα πρέπει να αναθεωρεί, να βελτιώνει, να προσαρμόζεται, αλλά και ν' αυξάνει την κυκλοφοριακή ικανότητα του εκάστοτε κόμβου. Το ακόλουθο διάγραμμα ροής μας παρέχει την διαδικασία σχεδιασμού ενός κόμβου.



Σχήμα 2.1 Διαδικασία σχεδιασμού ενός κυκλικού κόμβου

Κάπου εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι κάποιες μικρές αλλαγές στην γεωμετρία μπορούν ν' αποβούν καταστροφικές για τη λειτουργική απόδοση και την ασφάλεια του κόμβου. Έτσι είναι προτιμότερο να μελετηθούν τα γεωμετρικά στοιχεία

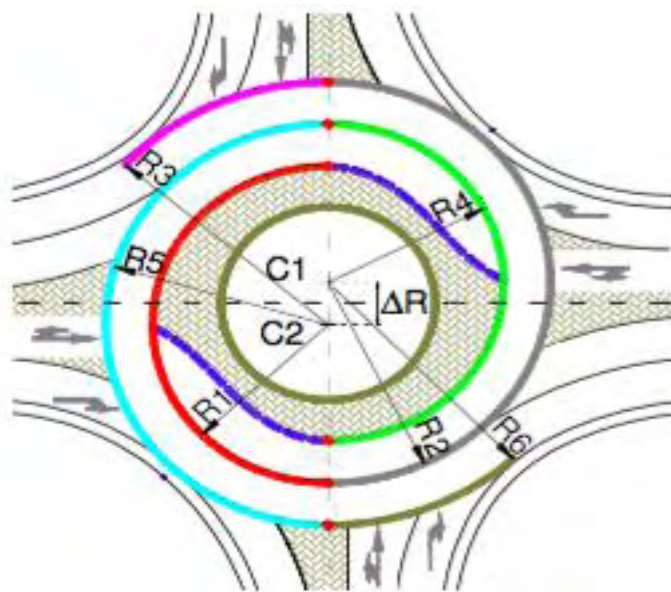
Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)

ξεχωριστά ώστε να ακολουθούνται οι προδιαγραφές που έχουν ορισθεί. Τρία θεμελιώδη στοιχεία που ορίζονται στο προκαταρκτικό στάδιο της μελέτης είναι:

- Το βέλτιστο μέγεθος του κυκλικού κόμβου.
- Η βέλτιστη θέση.
- Η βέλτιστη ευθυγράμμιση και διάταξη των σκελών πρόσβασης.

2.2 Γεωμετρία των κυκλικών κόμβων turbo.

Το χαρακτηριστικό σχήμα της κεντρικής νησίδας (σχήμα 2.2) είναι σχεδιασμένο μέσω του τόξου της περιμέτρου του κύκλου με διαφορετικά κέντρα και ακτίνες. Ο σχεδιασμός της γεωμετρίας ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:



Σχήμα 2.2 Γεωμετρικός σχεδιασμός του κυκλικού κόμβου turbo

- 1) Διαχωρίζεται το κέντρο της διασταύρωσης (ή το σημείο της διασταύρωσης ανάμεσα στους δρόμους)

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)

2) Επιλέγεται το πλάτος λωρίδας και το πλάτος της νησίδας ασφαλείας ανάμεσα στις λωρίδες όπου το άθροισμα ανταποκρίνεται στην απόσταση από το C_1 έως και

το C_2 :
$$\overline{C_1 \cdot C_2} = \overline{\Delta R} \quad (1)$$

3) Τοποθετούνται τα κέντρα C_1 και C_2 συμμετρικά όπως το σημείο διασταύρωσης ανάμεσα στους άξονες των δρόμων.

4) Προσδιορίζεται η τιμή της πρώτης ακτίνας και παίρνουμε $R_1=R_4$. Οι άλλες τιμές για τις ακτίνες προσδιορίζονται από την σχέση:

$$R_i = R_{i-1} + \Delta R \quad (2)$$

Γενικά ισχύει: $R_2 = R_1 + \Delta R$

$$R_3 = R_2 + \Delta R$$

$$R_5 = R_4 + \Delta R$$

$$R_6 = R_5 + \Delta R$$

Οι τιμές των ακτινών ενός κυκλικού κόμβου turbo και το πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας πρέπει να επιλέγονται με τέτοιο τρόπο ώστε η ταχύτητα των οχημάτων μέσα στον κόμβο να μην υπερβαίνει τα 40 km/h. Ο πίνακας 2.1 δείχνει τυποποιημένα μεγέθη των ακτινών ($R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$) για μικρούς, Standard, μεσαίους και μεγάλους κυκλικούς κόμβους.

Ακτίνες	Μικροί	Standard	Μεσαίοι		Μεγάλοι
	$\Delta R=4.20$ m (πλάτος λωρίδας =3.50 m)				
R1 (m)	10.50	12.00	15.00		20.00
R2 (m)	14.70	16.20	19.20		24.20
R3 (m)	18.90	20.40	23.40		28.40
R4 (m)	10.50	12.00	15.00		20.00
R5 (m)	14.70	16.20	19.20		24.20
R6 (m)	18.90	20.40	23.40		28.40
	$\Delta R=4.45$ m (πλάτος λωρίδας =3.75 m)				
R1 (m)	10.50	12.00	15.00		20.00
R2 (m)	14.95	16.45	19.45		24.45
R3 (m)	19.40	20.90	23.90		28.90
R4 (m)	10.50	12.00	15.00		20.00
R5 (m)	14.95	16.45	19.45		24.45
R6 (m)	19.40	20.90	23.90		28.90
	$\Delta R=4.70$ m (πλάτος λωρίδας =4.00 m)				
R1 (m)	10.50	12.00	15.00		20.00

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)

R2 (m)	15.20	16.70	19.70		24.70
R3 (m)	19.90	21.40	24.40		29.40
R4 (m)	10.50	12.00	15.00		20.00
R5 (m)	15.20	16.70	19.70		24.70
R6 (m)	19.90	21.40	24.40		29.40

***Πίνακας 2.1** Τυποποιημένα μεγέθη ακτινών για τους κυκλικούς κόμβους turbo.*

Καθώς το πλάτος των λωρίδων κυκλοφορίας πρέπει να κρατείται σταθερό κατά την ανάπτυξη τους, η καμπύλη πρέπει να έχει σταθερό βήμα που είναι ίσο με την εγκάρσια απόσταση μεταξύ των λωρίδων. Το τελευταίο χαρακτηριστικό ανήκει στο σπирάλ του Αρχιμήδη (Σχήμα 2.3) όπου και η εξίσωση του είναι η ακόλουθη:

$$R = \alpha \cdot \theta \quad (3)$$

με α = παράμετρος καμπύλης

θ = πολική γωνία και

R = ακτινική απόσταση



***Σχήμα 2.3** Το σπирάλ του Αρχιμήδη*

Το σπирάλ του Αρχιμήδη αντιπροσωπεύει την τροχιά ενός σημείου P που κινείται με σταθερή ταχύτητα πάνω σε μία ευθεία όπου περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα στο σημείο O (αρχή των αξόνων σε καρτεσιανό επίπεδο). Οποιαδήποτε γραμμή που διέρχεται απ' την αρχή των αξόνων O χωρίζει σε ίσια τμήματα το σπирάλ του Αρχιμήδη δηλαδή:

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)

$$\overline{OA} = \overline{AB} = \overline{BC} = \dots \quad (4)$$

Οι γνωστές εξισώσεις του σπινάλ του Αρχιμήδη είναι οι εξής:

$$x = R \cdot \cos \theta = a \cdot \theta \cdot \cos \theta \quad (5)$$

$$y = R \cdot \sin \theta = a \cdot \theta \cdot \sin \theta \quad (6)$$

Εάν πρέπει να υπολογισθεί το βήμα σπινάλ K, θέτοντας το ως έναν n φυσικό αριθμό (n = 1,2,3,4...) οι ακόλουθες συνθήκες θα ληφθούν υπόψη:

$$R_n = a \cdot \theta_n \quad (7)$$

$$R_{n+1} = a \cdot \theta_{n+1} \quad (8)$$

$$K = R_{(n+1)} - R_n = a \cdot (\theta_{n+1} - \theta_n) = 2\pi a \quad (9)$$

Μ' αυτές τις σχέσεις η τιμή της παραμέτρου a μπορεί να υπολογισθεί με την προϋπόθεση ότι το βήμα K του σπινάλ είναι γνωστό:

$$a = \frac{K}{2\pi} \quad (10)$$

Τέλος το μήκος του σπινάλ υπολογίζεται απ' την παρακάτω εξίσωση:

$$L = \frac{1}{2} \cdot a \cdot [\theta \cdot \sqrt{1 + \theta^2} + \ln(\theta + \sqrt{1 + \theta^2})] \quad (11)$$

Οι ακτίνες εισόδου και εξόδου μπορούν να βρεθούν από τις μέσες τιμές όπως στους συμβατούς κυκλικούς κόμβους όπου η ελάχιστη τιμή εισόδου $R_{e,min} = 12.00 \text{ m}$

και η ελάχιστη τιμή εξόδου $R_{u,min} = 15.00$ m. Επιπλέον για την ικανοποίηση των ελιγμών εισόδου και εξόδου οι λωρίδες πρέπει να έχουν πλάτος 4.00 m και 4.50 m αντίστοιχα.

2.3 Υπολογισμός χωρητικότητας

Οι εμπειρικές σχέσεις χρησιμοποιούνται παραδοσιακά για τον υπολογισμό της χωρητικότητας ενός turbo κυκλικού κόμβου. Η εμπειρική μέθοδος είναι βασισμένη σε μετρήσεις ήδη υπαρχόντων κυκλικών κόμβων με κάποια από τα πειραματικά μοντέλα να είναι 1) του Fortuijn, 2) Giuffre, Guerrieri και Grana και τέλος 3) του Hagring. Παρακάτω παρουσιάζονται όλα τα μοντέλα για την ανάλυση των κυκλικών κόμβων turbo.

Μοντέλο 1) Fortuijn

Η ιδιότητα του βασίζεται στον ξεχωριστό υπολογισμό της χωρητικότητας στις λωρίδες εισαγωγής λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση της ψευδο-εμπλοκής αλλά δεν υπολογίζεται η απλά χωρητικότητα. Η χωρητικότητα της δεξιόστροφης λωρίδας C_{Er} και αριστερόστροφης λωρίδας C_{El} υπολογίζονται απ' τις παρακάτω εξισώσεις:

$$C_{El} = C_o - b_{min} \cdot Q_{Rmin} - b_{max} \cdot Q_{Rmax} - \alpha_i \cdot Q_s \quad (12)$$

$$C_{Er} = C_o - b_u \cdot Q_{Ru} - \alpha_r \cdot Q_s \quad (13)$$

όπου: C_o = χωρητικότητα χωρίς κυκλοφοριακή ροή (pcu/h)

Q_R = Ένταση της κυκλοφοριακής ροής (pcu/h)

Q_s = Ένταση της κυκλοφοριακής εξόδου (pcu/h)

α_i α_r b_u b_{max} b_{min} = συντελεστές εξαρτώμενοι από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διασταύρωσης.

Οι δείκτες l , r , I , U , R_{min} , R_{max} είναι για:

l = αριστερόστροφη λωρίδα

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)

r = δεξιόστροφη λωρίδα

I = εσωτερική λωρίδα κυκλικού κόμβου

U = εξωτερική λωρίδα κυκλικού κόμβου

R_{\min} = λωρίδα δακτυλίου με την χαμηλότερη κυκλοφοριακή ένταση

R_{\max} = λωρίδα δακτυλίου με την υψηλότερη κυκλοφοριακή ένταση

Μοντέλο 2) Giuffre – Guerrieri – Granà

Για να υπολογίσουμε την χωρητικότητα βόρειας και νότιας κατεύθυνσης χρησιμοποιούνται οι εξισώσεις χωρητικότητας δεξιόστροφης λωρίδας $C_{E,r}$ και χωρητικότητας αριστερόστροφης λωρίδας $C_{E,TLT}$ όπου υπολογίζονται χωριστά:

$$C_{E,r} = 3600 \cdot \left(1 - \frac{T_{\min} \cdot Q_{C,E}}{3600}\right) \cdot \frac{1}{T_f} \cdot e^{-\frac{Q_{C,E}}{3600} \left(T_g - \frac{T_f}{2} - T_{\min}\right)} \quad (14)$$

$$C_{E,TLT} = 3600 \cdot \left[1 - \frac{T_{\min} \cdot (Q_{C,E} + Q_{C,I})}{3600}\right] \cdot \frac{1}{T_f} \cdot e^{-\frac{Q_{C,E} + Q_{C,I}}{3600} \left(T'_g - \frac{T'_f}{2} - T_{\min}\right)} \quad (15)$$

όπου:

$C_{E,r}$ = Χωρητικότητα δεξιόστροφης λωρίδας στην είσοδο E (όχημα/h)

$C_{E,TLT}$ = Χωρητικότητα διά μέσου και αριστερόστροφης λωρίδας στην είσοδο E (όχημα/h)

$Q_{C,e}$ = Κυκλοφοριακή ροή κίνησης στον εξωτερικό δακτύλιο έναντι της εισόδου E (όχημα/h)

$Q_{C,i}$ = Κυκλοφοριακή ροή κίνησης στον εσωτερικό δακτύλιο έναντι της εισόδου E (όχημα/h)

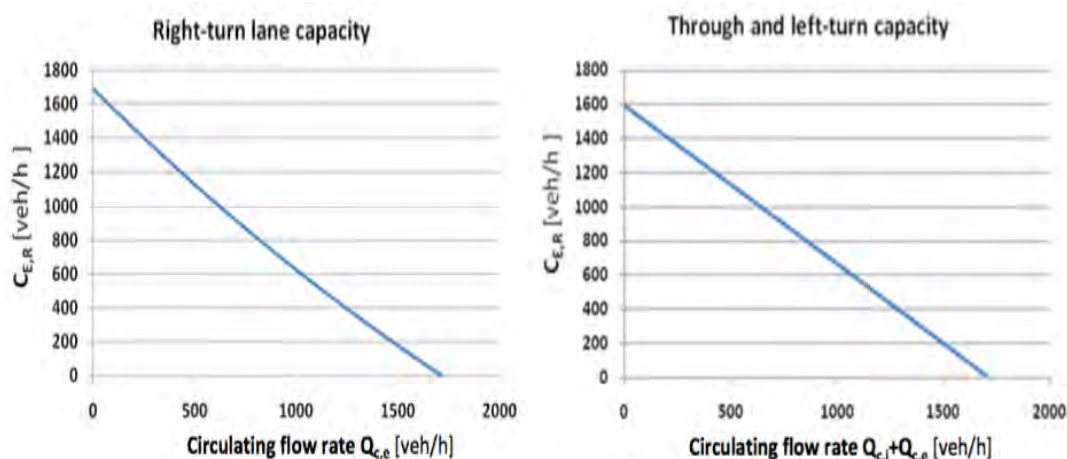
T_g, T'_g = Κρίσιμο διάκενο (s) (διαφορετικές τιμές για διπλές λωρίδες εισόδου)

T_f, T'_f = Χρόνος συνέχισης (s) (διαφορετικές τιμές για διπλές λωρίδες εισόδου)

T_{\min} = ο συντομότερος χρόνος μεταξύ των κινούμενων οχημάτων που κινούνται στις λωρίδες κυκλοφορίας. (s)

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)

Το σχήμα 2.4 απεικονίζει την σχέση χωρητικότητας vs των κινούμενων οχημάτων διπλής λωρίδας. Πιο συγκεκριμένα αρχίζοντας από τα στατιστικά δεδομένα και λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους συμπεριφοράς εκπονήθηκε απ' τον Fortuijn μελέτη και σε συνδυασμό με τους ήδη υπάρχοντες turbo κυκλικούς κόμβους υποτέθηκαν οι τιμές $T_g = 3.6$ s, $T_f = 2.13$ s, $T_{\min} = 2.1$ s, για δεξιόστροφα οχήματα και $T_{gp} = 3.2$ s, $T_f = 2.25$ s, $T_{\min} = 2.1$ s για δια μέσου και αριστερόστροφα οχήματα.



Σχήμα 2.4 Χωρητικότητα λωρίδας

Κάθε λωρίδα εισόδου ενός κυκλικού κόμβου turbo χαρακτηρίζεται όχι μόνο από την διαφορετική χωρητικότητα (C_i) αλλά επίσης και απ' την διαφορετική τιμή του δείκτη ροής (Q_i) όπου έχει σαν αποτέλεσμα τον βαθμό κορεσμού $X_i = \frac{Q_i}{C_i}$ που μπορεί να διαφέρει μεταξύ των λωρίδων της ίδιας εισόδου και αυτό συνεπάγεται με την ολική χωρητικότητα εισόδου να μην είναι απλά το άθροισμα των χωρητικοτήτων μονών λωρίδων. Γι' αυτόν τον λόγο η χωρητικότητα εισόδου C_E υπολογίζεται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$X = \max \left(\frac{Q_i}{C_i} \right) = \max (X_i) \text{ όπου } i=1,2,3... \quad (16)$$

$$\rho_i = \frac{x_i}{X} \quad (17)$$

$$C_E = \sum_{i=1}^n \rho_i C_i = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{X} = \frac{Q_{E,R} + Q_{E,TLT}}{\max \left[\frac{Q_{E,R}}{C_{E,R}}, \frac{Q_{E,TLT}}{C_{E,TLT}} \right]} \quad (18)$$

Όπου:

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)

x_i = βαθμός κορεσμού μιας λωρίδας i

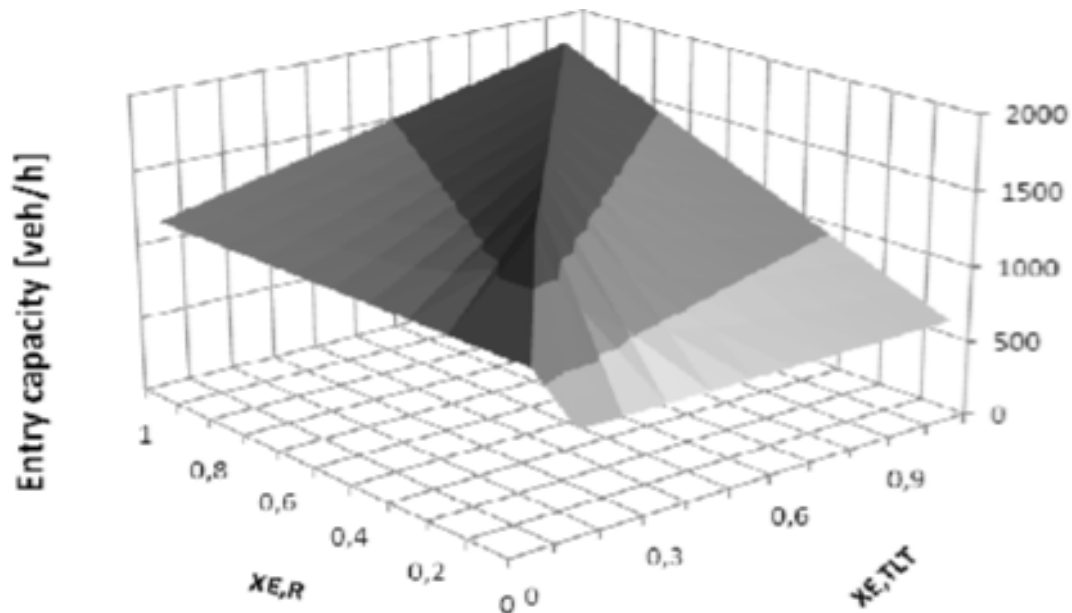
X = βαθμός κορεσμού της κρίσιμης λωρίδας

ρ_i = ο λόγος χρήσης της λωρίδας i

$Q_{E,R}$ = απαιτούμενος δείκτης ροής δεξιόστροφης λωρίδας στην είσοδο E

$Q_{E,TLT}$ = απαιτούμενος δείκτης ροής δια μέσου και αριστερόστροφης λωρίδας στην είσοδο E .

Η παρακάτω εικόνα 2.5 αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα της διακύμανσης της χωρητικότητας εισόδου εν συνάρτησι του βαθμού χρήσης σε συγκεκριμένες συνθήκες ορίου. Η επιφάνεια της εικόνας αναπτύχθηκε με ροές σε λωρίδες κυκλοφορίας $Q_{c,i}=Q_{c,e}=500$ όχημα/h η χωρητικότητα δεξιόστροφης λωρίδας $C_{E,R}=1127$ όχημα /h και η χωρητικότητα δια μέσου και αριστερόστροφης λωρίδας $C_{E,TLT}=671$ όχημα /h



Σχήμα 2.5 Χωρητικότητα εισόδου

Μοντέλο 3) Hagring

Σύμφωνα με τον Hagring (που απεικόνισε μια πιο γενική εξίσωση για την εύρεση της χωρητικότητας λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους συμπεριφοράς και ροής κίνησης) η χωρητικότητα εισόδου υπολογίζεται όπως η χωρητικότητα μικρότερων λωρίδων που διασταυρώνονται με μεγάλες ροές με την κάθε μια να έχει κατανομή Cowan M3 όπως:

$$C_E = 3600 \sum_j \frac{\varphi_j Q_{c,j}}{3600 - \Delta_j Q_{c,j}} \prod_k \left(\frac{3600 - \Delta_k Q_{c,k}}{3600} \right) \frac{\exp \left[- \sum_j \frac{\varphi_j Q_{c,i}}{3600 - \Delta_j Q_{c,j}} (T_{c,i} - \Delta_i) \right]}{1 - \exp \left(- \sum_m \frac{\varphi_m Q_{c,m}}{3600 - \Delta_m Q_{c,m}} T_{f,m} \right)} \quad (19)$$

όπου:

C_E = χωρητικότητα λωρίδας εισόδου

φ = παράμετρος Cowan M3 που αντιπροσωπεύει την αναλογία της ελεύθερης κίνησης μέσα στην κύρια λωρίδα

Q_c = Ροή εμπλεκόμενης κίνησης (pcu/h)

T_c = Κρίσιμο διάκενο της κυκλοφοριακής λωρίδας

T_f = Χρόνος συνέχισης (s)

Δ = Συντομότερη μετακίνηση της κυκλοφορίας

j, k, i, m = δείκτες εμπλεκόμενων λωρίδων

Το μοντέλο του Hagring αναπτύχθηκε για να ανταγωνιστεί τις τιμές της κυκλοφοριακής ροής $Q_{c,i}$ και $Q_{c,e}$ και αντιμετωπίστηκε απ' τους οδηγούς πάντα σε σχέση με τις τιμές T_c , T_f και Δ .

2.4 Επίδραση των πεζών στην κίνηση

Η επίδραση των πεζών στη κυκλοφοριακή κίνηση κυρίως σε αστικά κέντρα μελετάται πάντοτε όταν οι πεζοί έχουν προτεραιότητα εισόδου έναντι των οχημάτων. Αν και ακόμα δεν υπάρχουν πειραματικά δεδομένα αναφερόμενα σε turbo κυκλικούς

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)

κόμβους υπάρχει όμως μοντέλο υπολογισμού της χωρητικότητας M . Για είσοδο σε μονή λωρίδα ο δείκτης μείωσης υπολογίζεται ως εξής:

$$M = \frac{1119.5 - 0.715 \cdot q_k - 0.644 Q_{ped} + 0.00073 q_k \cdot Q_{ped}}{1069 - 0.65 q_k} \quad (20)$$

όπου q_k = δείκτης εμπλεκόμενης κίνησης

Q_{ped} = Ροή πεζών (πεζοί/h)

Μετά από επεξεργασία της παραπάνω εξίσωσης ακολουθούν:

$$M_{E,R} = \frac{1195.5 - 0.71 Q_{c,E} - 0.644 Q_{ped} + 0.00073 Q_{c,E} \cdot Q_{ped}}{1069 - 0.65 Q} \quad (21)$$

$$M_{E,TLT} = \frac{[1195.5 - 0.715 \cdot (Q_{c,E} + Q_{c,i}) - 0.644 Q_{ped} + 0.00073 \cdot (Q_{c,E} + Q_{c,i}) \cdot Q_{ped}]}{[1069 - 0.65 \cdot (Q_{c,E} - Q_{c,i})]} \quad (22)$$

$$C_{E,R}^{Ped} = C_{E,R} \cdot M_{E,R} \quad (23)$$

$$C_{E,TLT}^{Ped} = C_{E,TLT} \cdot M_{E,TLT} \quad (24)$$

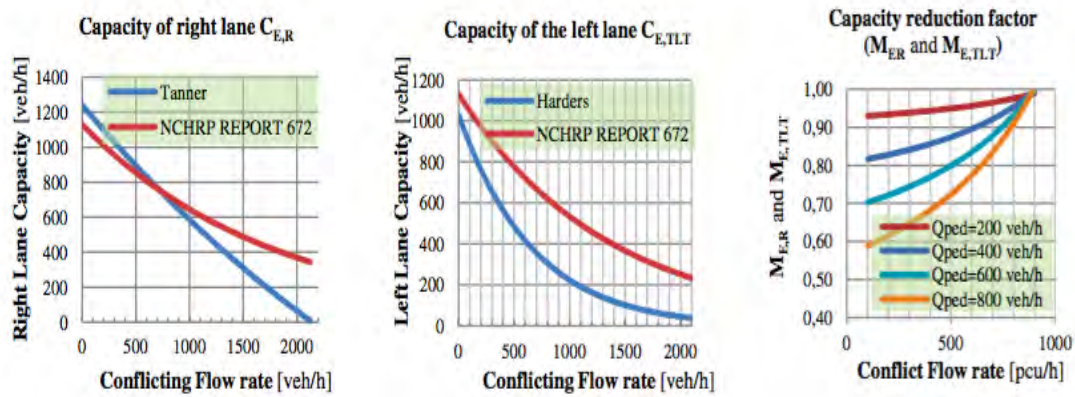
όπου: $C_{E,R}^{Ped}$ = Χωρητικότητα οχήματος για δεξιόστροφη λωρίδα λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των πεζών (όχημα/h)

$C_{E,TLT}^{Ped}$ = Χωρητικότητα οχήματος για δια μέσου και αριστερόστροφης λωρίδας λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των πεζών (όχημα/h)

$C_{E,R}$ = Χωρητικότητα οχήματος για δεξιόστροφη λωρίδα (χωρίς διαβάσεις πεζών)

$C_{E,TLT}$ = Χωρητικότητα οχήματος για δια μέσου και αριστερόστροφης λωρίδας (χωρίς διαβάσεις πεζών)

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)



Σχήμα 2.6 Σύγκριση μεταξύ μοντέλων χωρητικότητας για λωρίδες εισόδου και τιμών δείκτη μείωσης χωρητικότητας

2.5 Υπολογισμός των καθυστερήσεων και του επιπέδου εξυπηρέτησης

Μετά τον υπολογισμό της χωρητικότητας αλλά και της επίδρασης των πεζών στην κυκλοφοριακή κίνηση είναι δυνατό να υπολογιστεί η μέση καθυστέρηση από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$D_{E,R}^{Ped} = \frac{3600}{C_{E,R}} + 900T \cdot \left[\frac{Q_{E,R}}{C_{E,R}^{Ped}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{Q_{E,R}}{C_{E,R}^{Ped}} - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_{E,R}^{Ped}} \right) \cdot \left(\frac{Q_{E,R}}{C_{E,R}} \right)}{450 \cdot T}} \right] + 5 \min \left[\frac{Q_{E,R}}{C_{E,R}^{Ped}}, 1 \right] \quad (25)$$

$$D_{E,TLT}^{Ped} = \frac{3600}{C_{E,TLT}} + 900T \cdot \left[\frac{Q_{E,TLT}}{C_{E,TLT}^{Ped}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{Q_{E,TLT}}{C_{E,TLT}^{Ped}} - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_{E,TLT}^{Ped}} \right) \cdot \left(\frac{Q_{E,TLT}}{C_{E,TLT}} \right)}{450 \cdot T}} \right] + 5 \min \left[\frac{Q_{E,TLT}}{C_{E,TLT}^{Ped}}, 1 \right] \quad (26)$$

όπου: $D_{E,R}^{Ped}$ = Μέση καθυστέρηση για δεξιόστροφη λωρίδα (s/veh)

$D_{E,TLT}^{Ped}$ = Μέση καθυστέρηση για δια μέσου και αριστερόστροφη λωρίδα (s/veh)

T = Χρόνος αναφοράς ($T=1$ για 1 ώρα ανάλυση και $T=0.25$ για 15 λεπτά ανάλυση)

Γενικά οι καθυστερήσεις θα διαφέρουν στις δύο λωρίδες εισόδου γι' αυτό το επίπεδο εξυπηρέτησης για την δεξιόστροφη λωρίδα πρέπει να διαφέρει απ' το επίπεδο εξυπηρέτησης για την δια μέσου και αριστερόστροφης λωρίδας.

Η μέση καθυστέρηση στις εισόδους υπολογίζεται από την φόρμουλα:

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)

$$D_E^{Ped} = \frac{D_{E,R}^{Ped} \cdot Q_{E,R} + D_{E,TLT}^{Ped} \cdot Q_{E,TLT}}{Q_{E,R} + Q_{E,TLT}} \quad (27)$$

όπου: $D_{E,R}^{Ped}$, $D_{E,TLT}^{Ped}$ = καθυστερήσεις στις δύο λωρίδες εισόδου E

$Q_{E,R}$, $Q_{E,TLT}$ = δείκτης ροής για τις δύο λωρίδες εισόδου E

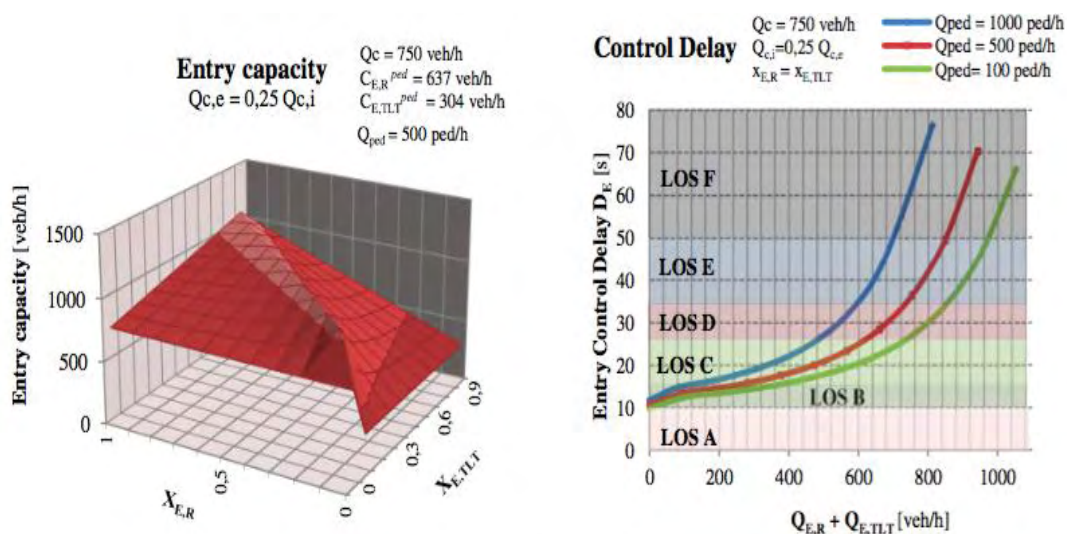
Για να προσδιορίσουμε το επίπεδο εξυπηρέτησης για κάθε μία λωρίδα πολύτιμη βοήθεια δίνεται απ' την αναφορά NCHRP 672 και πιο συγκεκριμένα απ' τον παρακάτω πίνακα ελέγχου καθυστέρησης και επιπέδου εξυπηρέτησης:

Έλεγχος μέσης καθυστέρησης D_E (sec/veh)	Επίπεδο εξυπηρέτησης
0 - 10	A
10 - 15	B
15 - 25	C
25 - 35	D
35 - 45	E
> 50	F

Πίνακας 2.2 Επίπεδο εξυπηρέτησης

Οι ακόλουθες γραφικές παραστάσεις απεικονίζουν τις τιμές των καθυστερήσεων D_E και τα επίπεδα εξυπηρέτησης σε συνάρτηση με τις ροές εισόδων ($Q_{E,R}$, $Q_{E,TLT}$) τις ροές πεζών Q_{PED} τους βαθμούς κορεσμού των λωρίδων και κυκλοφοριακής ροής στον δακτύλιο $q_k = Q_{C,E} + Q_{C,I}$

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)



Σχήμα 2.7 Χωρητικότητα εισόδου και μέση καθυστέρηση σε συνάρτηση των ροών εισόδων και των ροών πεζών

2.6 Υπολογισμός μήκους ουρών

Ο υπολογισμός των αναμενόμενων ουρών χρησιμοποιεί τα ίδια δεδομένα όπως στην περίπτωση των καθυστερήσεων. Η ουρά προσδιορίζεται σε οχήματα και υπολογίζεται για το 95% των περιπτώσεων ως εξής:

$$Q_{95E,R} = 900 \cdot T \left[X_{E,R} - 1 + \sqrt{(1 - x_{E,R})^2 + \frac{(\frac{3600}{C_{E,R}^{ped}}) \cdot X_{E,R}}{150T}} \right] \cdot \frac{C_{E,R}^{ped}}{3600} \quad (28)$$

$$Q_{95E,TLT} = 900 \cdot T \left[X_{E,TLT} - 1 + \sqrt{(1 - x_{E,TLT})^2 + \frac{(\frac{3600}{C_{E,TLT}^{ped}}) \cdot X_{E,TLT}}{150T}} \right] \cdot \frac{C_{E,TLT}^{ped}}{3600} \quad (29)$$

όπου

$Q_{95E,R}$ = Ουρά για το 95% των περιπτώσεων για την δεξιόστροφη λωρίδα

$Q_{95E,TLT}$ = Ουρά για το 95% των περιπτώσεων για την αριστερόστροφη λωρίδα

$x_{E,R}$ = Βαθμός κορεσμού (είναι ο λόγος του δείκτη ροής δεξιόστροφης κίνησης δια της χωρητικότητας)

$X_{E,TLT}$ = Βαθμός κορεσμού (είναι ο λόγος του δείκτη ροής αριστερόστροφης κίνησης δια της χωρητικότητας)

T = Χρονική περίοδος ανάλυσης ($T=1$ για 1 ώρα ανάλυση και $T=0.25$ για 15 λεπτά ανάλυση)

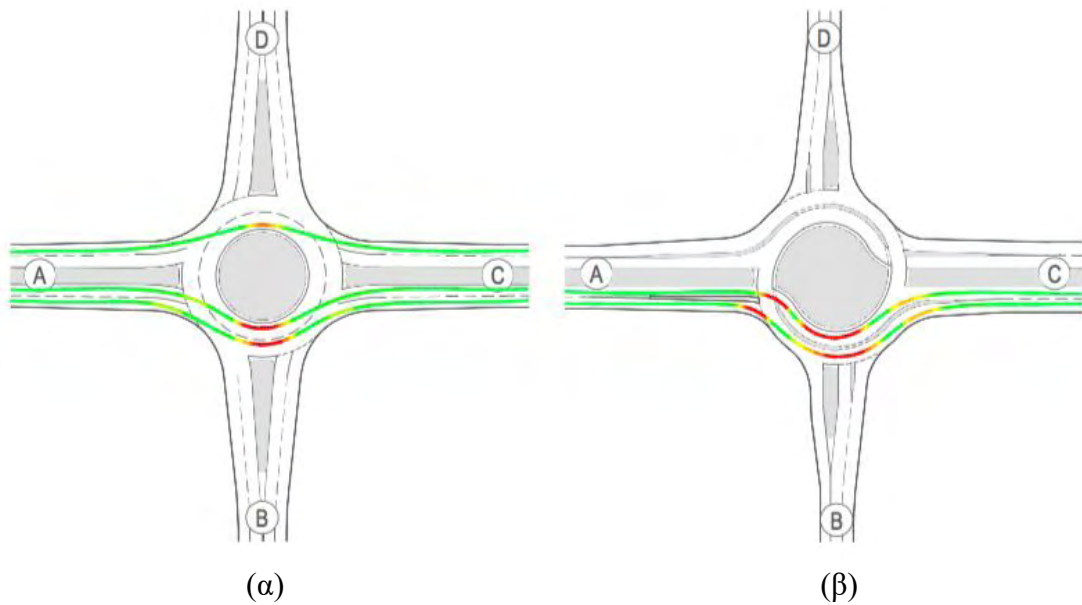
2.7 Βελτίωση της ασφάλειας των κυκλικών κόμβων turbo

Οι κυκλικοί κόμβοι turbo έχουν δύο θεμελιώδεις αρχές έναντι των συμβατών κυκλικών κόμβων διπλής λωρίδας βασιζόμενη στον φυσικό διαχωρισμό των λωρίδων (Corriere, Guerrieri 2012). I) μείωση του αριθμού των σημείων εμπλοκής και II) μείωση της ταχύτητας στην είσοδο, μέσα στον κυκλοφοριακό δακτύλιο αλλά και στην έξοδο. Αρκετές μελέτες έδειξαν 70% χαμηλότερο ρίσκο σύγκρουσης όταν ο συμβατός κυκλικός κόμβος διπλής λωρίδας μετατρέπεται σε κυκλικό κόμβο turbo (Fortujin 2009). Άλλες μελέτες βασισμένες στην ανάλυση της τεχνικής σύρραξης έδειξαν 40% με 50% μείωση του δείκτη ατυχήματος (Mauro, Cottoni 2010). Σε μια άλλη μελέτη (Fortujin 2007) βασισμένη στην μικρο-προσομοίωση (micro-simulation) συμπέρανε ότι οι οδηγοί που χρησιμοποιούν την εξωτερική λωρίδα των κυκλικών κόμβων turbo οδηγούν πιο αργά απ' ό,τι στον συμβατό κόμβο διπλής λωρίδας με μείωση ταχύτητας από 48 σε 38 km/h.

Πράγματι ένας συντελεστής υπεύθυνος για την ταχύτητα είναι η καμπυλότητα. Αυτό γιατί η οδική ακαταλληλότητα αυξάνεται με την κεντρομόλο επιτάχυνση. Οι υπερυψωμένοι διαχωριστές στους turbo κυκλικούς κόμβους αναγκάζουν τους οδηγούς να παραμείνουν στην ίδια λωρίδα εντός του δακτυλίου και επιπλέον ν' ακολουθούν την κατεύθυνση με μικρότερη ακτίνα σε μικρότερες ταχύτητες. Λαμβάνοντας υπόψη την επιλογή λωρίδας κρατώντας την ταχύτητα προσέγγισης σταθερή όλοι οι οδηγοί πρέπει ν' ακολουθούν ίδια τακτική που έχει σαν αποτέλεσμα ένα ομοιογενές προφίλ χαμηλής ταχύτητας.

Συγκρίνοντας τέλος τους συμβατούς κόμβους δύο λωρίδων με τους turbo κυκλικούς κόμβους συμπεραίνουμε ότι ο turbo κυκλικός κόμβος είναι καλύτερη λύση από άποψη ασφάλειας αλλά και από άποψη σοβαρότητας (κόστους) όπως παρατηρείται στο σχήμα 2.9 (Brilon 2011).

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)



Σχήμα 2.8 Βέλτιστη βολική πορεία α) συμβατός κόμβος διπλής λωρίδας β) κυκλικός κόμβος turbo

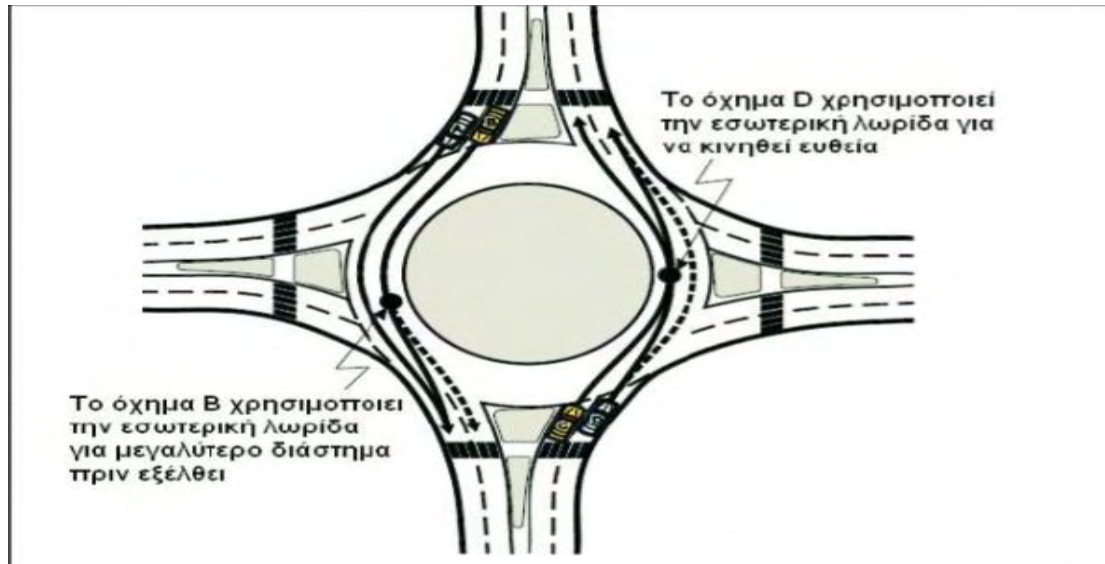


Σχήμα 2.9 Σύγκριση δεικτών κόστους ατυχήματος για υπεραστικό σπειροειδή κόμβο κοντά στην πόλη Baden-Baden (Brilon 2011)

2.7.1 Τύποι ατυχημάτων

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)

Στην περίπτωση των κυκλικών κόμβων turbo η επιλογή της σωστής λωρίδας είναι σημαντικής σημασίας καθώς μία λανθασμένη επιλογή μπορεί ν' αποβεί μοιραία στην ύπαρξη σύγκρουσης. Η εικόνα 2.9 δείχνει κάποιες προβλεπόμενες συγκρούσεις από λάθος επιλογή λωρίδας:



Σχήμα 2.10 Σύγκρουση εντός του δακτυλίου λόγω λάθους στην επιλογή λωρίδας

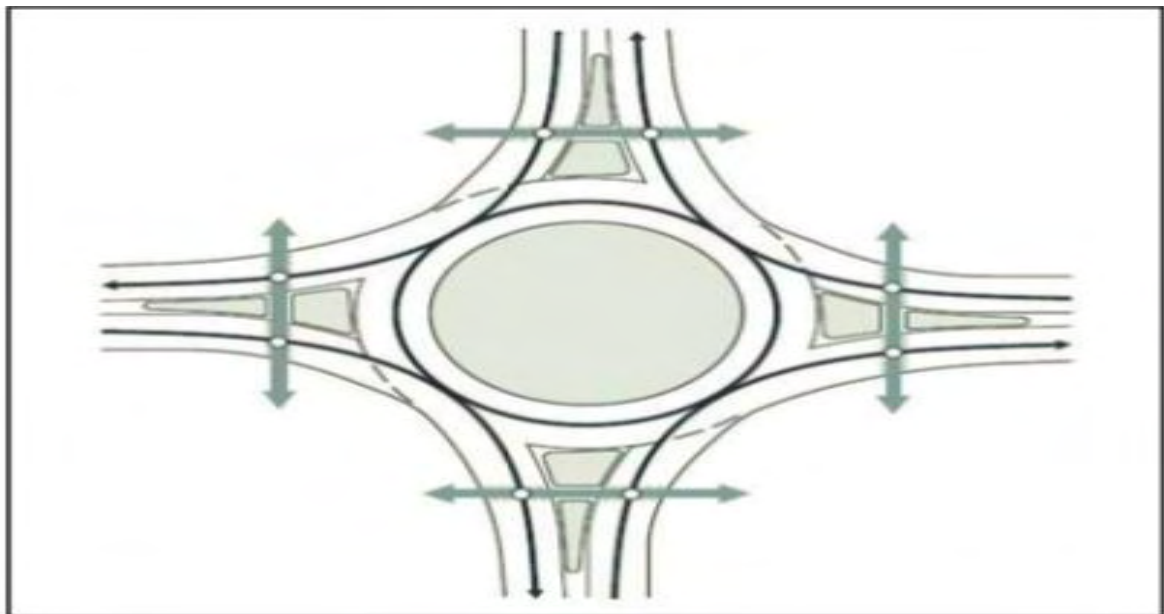


Σχήμα 2.10.1 Σύγκρουση κατά την έξοδο από λάθος επιλογή λωρίδας



Σχήμα 2.10.2 Σύγκρουση κατά την έξοδο λόγω λάθους επιλογή λωρίδας από την έναρξη εισόδου στον δακτύλιο

Τυχόν εμπλοκές με πεζούς μπορούν να γίνουν πάνω στις πεζοδιαβάσεις ή όταν κινούνται σε τμήματα μη προβλεπόμενα γι' αυτούς. Τα σημεία διασταύρωσης οχημάτων με πεζούς απεικονίζονται στην παρακάτω εικόνα:



Σχήμα 2.11 Σημεία εμπλοκής οχημάτων-πεζών

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)

Έτσι τα ατυχήματα που συμβαίνουν σε κάποιον κόμβο προκαλούνται από εμπλοκές μεταξύ οχημάτων, πεζών και ποδηλάτων και οι τύποι τους είναι:

- 1) Σύγκρουση στην είσοδο λόγω παραβίασης προτεραιότητας.
- 2) Σύγκρουση εξερχόμενου οχήματος με άλλο όχημα που κινείται στον δακτύλιο κυκλοφορίας.
- 3) Σύγκρουση οχήματος-πεζού στις πεζοδιαβάσεις.
- 4) Σύγκρουση εισερχόμενου οχήματος με εξερχόμενο.
- 5) Σύγκρουση νωτομετωπική επί του δακτυλίου κυκλοφορίας.
- 6) Σύγκρουση νωτομετωπική κατά την έξοδο.
- 7) Σύγκρουση με πεζό επί του δακτυλίου.
- 8) Σύγκρουση με πεζό εκτός δακτυλίου.
- 9) Προσπέραση ποδηλάτου στην είσοδο.
- 10) Προσπέραση ποδηλάτου στην έξοδο.
- 11) Κίνηση με αντίθετη ροή επί του δακτυλίου.
- 12) Πλαγιομετωπική κατά την πλέξη επί του δακτυλίου.
- 13) Απώλεια ελέγχου οχήματος κατά την έξοδο.
- 14) Απώλεια ελέγχου οχήματος κατά την είσοδο.
- 15) Εκτροπή οχήματος εκτός του δακτυλίου κυκλοφορίας.
- 16) Σύγκρουση νωτο-μετωπική κατά την είσοδο.

2.8 Υπολογισμός ταχύτητας της συντομότερης πορείας του οχήματος

Η ταχύτητα της συντομότερης διαδρομής του οχήματος είναι η ταχύτητα εκείνη του οχήματος όταν παίρνει την πιο πιθανή ευθεία μέσα στον κόμβο κατά την έλλειψη άλλων οχημάτων και κατά τον μη σεβασμό των διαγραμμίσεων των λωρίδων. Λόγω των υπερυψωμένων διαχωριστικών λωρίδων η συντομότερη διαδρομή ενός οχήματος κατά την οδήγηση σ' έναν κυκλικό κόμβο turbo έχει μεγαλύτερη απόκλιση απ' ότι η συντομότερη διαδρομή ενός οχήματος σ' έναν συμβατό κυκλικό κόμβο διπλής λωρίδας. Έτσι οι ταχύτητες στον κυκλικό κόμβο turbo είναι χαμηλότερες απ' αυτές των συμβατών κυκλικών κόμβων.

Οι Ολλανδικές και κροατικές οδηγίες, οι σλοβένικες τεχνικές προδιαγραφές και το σέρβικο εγχειρίδιο σχεδιασμού παρέχουν ακριβώς τις ίδιες κατευθύνσεις για την ανάλυση της ταχύτητας της συντομότερης πορείας για έναν κυκλικό κόμβο turbo. Σύμφωνα μ' αυτά τ' αρχεία η ανάλυση πρέπει να διεξάγεται για: κινήσεις δεξιόστροφες απ' την εξωτερική λωρίδα εισόδου και κινήσεις δεξιόστροφες απ' την εσωτερική λωρίδα εισόδου. Οι ταχύτητες των συντομότερων διαδρομών πρέπει πάντα να βασίζονται στα πιθανά σημεία αλληλεπίδρασης που πρέπει να τοποθετούνται σ' απόσταση 1 μέτρου απ' αυτά.

Μια απλή ανάλυση πορείας πραγματοποιήθηκε σ' έναν στάνταρντ κυκλικό κόμβο turbo για κανονικό όχημα απ' τους Ολλανδικούς φορείς όπου απέδειξαν ότι το 1 μέτρο χώρου δεν εξασφαλίζει πάντα ανεμπόδιστα περάσματα των οχημάτων: όταν το όχημα κινείται στην ευθεία μέσα στον κόμβο το όχημα εντοπίζεται πάνω απ' τις άκρες του δρόμου. Σύμφωνα με άλλους κανονισμούς όπως οι σέρβικοι τεχνικοί κανόνες και οι αμερικάνικες οδηγίες προτείνουν την αύξηση του ελαχίστου χώρου όπου απ' την εξωτερική άκρη του δρόμου ανέρχεται μέχρι το 1,5 μέτρο, από την άκρη της κεντρικής νησίδας μέχρι τα 2 μέτρα, από την διαγράμμιση του δρόμου της διαχωριστικής νησίδας μέχρι το 1 μέτρο και από την εξωτερική άκρη του δρόμου και την άκρη της κεντρικής νησίδας μέχρι το 1.5 μέτρο. Η έρευνα έδειξε ότι τα 2 μέτρα χώρου έχουν σαν αποτέλεσμα μεγάλη καμπυλότητα περάσματος του οχήματος. Έτσι σκεπτόμενοι όλα τα παραπάνω η βέλτιστη τιμή για τον ελάχιστο χώρο ανέρχεται στο 1.5 μέτρο.

Η ταχύτητα της συντομότερης πορείας του οχήματος υπολογίζεται απ' την παρακάτω εξίσωση:

$$V = 7.4 \cdot \sqrt{R} \quad (30)$$

όπου: V = ταχύτητα συντομότερης πορείας του οχήματος
 R = ακτίνα της συντομότερης πορείας

Σύμφωνα με τις ολλανδικές οδηγίες η ταχύτητα συντομότερης πορείας ενός οχήματος μέσα σ' έναν turbo κυκλικό κόμβο πρέπει να κυμαίνεται από 37 έως 40 km/h και σύμφωνα με τις κροατικές οδηγίες, τις σλοβένικες τεχνικές προδιαγραφές και το σέρβικο εγχειρίδιο σχεδιασμού η τιμή της ταχύτητας πρέπει να είναι μεταξύ του 35 έως 37 km/h.

Κεφάλαιο 3: Θεωρητικές μελέτες των turbo κυκλικών κόμβων

Το παρόν κεφάλαιο ασχολείται με θεωρητικές μελέτες όπως σύγκριση του κυκλικού κόμβου turbo με συμβατό κυκλικό κόμβο διπλής λωρίδας, συνεχίζεται με την μελέτη συμπεριφοράς των οδηγών αλλά και η άποψη αυτών για τους κυκλικούς κόμβους turbo και κλείνει με την μελέτη εγκατάστασης εσωτερικά ή εξωτερικά μιας αστικής περιοχής.

3.1 Σύγκριση βασικού κυκλικού κόμβου turbo με συμβατό κυκλικό κόμβο διπλής λωρίδας

Η σύγκριση αυτών των δύο τύπων κόμβων εμπνεύστηκε από την μεθοδολογική προσέγγιση που αναπτύχθηκε από τους Mauro και Branco ώστε να καταγραφούν τα πλεονεκτήματα των κυκλικών κόμβων turbo έναντι συμβατών κόμβων διπλής λωρίδας. Σ' αυτήν την έρευνα συγκρίθηκαν διαφορετικές γεωμετρικές διατάξεις, πάρθηκαν διαφορετικές υποθέσεις όσον αφορά τις εμπλεκόμενες ροές, χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά μοντέλα χωρητικότητας και για τα συγκεκριμένα σχήματα έγινε ο απαραίτητος έλεγχος αργοπορίας.

Δίδοντας σαν παράδειγμα τις συνθήκες λειτουργίας μπορούν να προκύψουν στους κόμβους 3 καταστάσεις κίνησης που αντιστοιχούν σε 3 matrix κυκλοφοριακής

κίνησης. Μ' αυτόν τον τρόπο ήταν πιθανό να ανακαλυφθεί πώς επηρεάζεται η λειτουργία των διαφορετικών διατάξεων:

Στην περίπτωση 1: Το ποσοστό της κίνησης στρίβει απ' το ένα σκέλος σε οποιοδήποτε άλλο σκέλος και θεωρήθηκε σε ισορροπία.

Στην περίπτωση 2: Οι δια μέσου κινήσεις από και προς τις κύριες εισόδους θεωρήθηκε ότι υπερέχουν έναντι των άλλων κινήσεων, οι αριστερές και δεξιές κινήσεις από τις μικρότερες στις κύριες εισόδους θεωρήθηκαν ότι κυριαρχούν από τις δια μέσου κινήσεις από και προς τις μικρότερες εισόδους και

Στην περίπτωση 3: που είναι ανάλογη της περίπτωσης 2 εκτός από τα ποσοστά αριστερής και δεξιάς κίνησης από τις μικρότερες στις μεγαλύτερες εισόδους όπου οι δείκτες επί τοις εκατό είναι τώρα αντιστρέψιμοι.

Οι δείκτες των κυκλοφοριακών απαιτήσεων (Q_{e1} Q_{e2} Q_{e3} Q_{e4}) υποτέθηκαν ότι έχουν ίδιες τιμές για τις δύο εισόδους την μικρότερη όπου $Q_{e1} = Q_{e3}$ και μεγαλύτερη όπου $Q_{e2} = Q_{e4}$ και αυτές οι συνθήκες ισορροπίας αντιπροσωπεύτηκαν στις εισόδους. Επιπλέον όλες οι περιπτώσεις όπου $(Q_{e2}+Q_{e4}) < (Q_{e1}+Q_{e3})$ αποκλείστηκαν. Περαιτέρω υποθέσεις σχετίστηκαν με την επιλογή του ποσοστού των κυκλοφοριακών ροών στην λωρίδα εισόδου που παρουσιάζουν διαφορετικούς ελιγμούς από τα σκέλη. Ο παρακάτω πίνακας 2.3 δείχνει τα ποσοστά δεξιόστροφων ελιγμών από τις εισόδους 1-3 και τους δια μέσου ελιγμούς από τις εισόδους 2-4:

Είσοδος	Λωρίδα	Δεξιόστροφος ελιγμός %
Είσοδος 1-3	Δεξιά λωρίδα	90
	Αριστερή λωρίδα	10
Είσοδος	Λωρίδα	Δια μέσου ελιγμός %
Είσοδος 2-4	Δεξιά λωρίδα	50
	Αριστερή λωρίδα	50

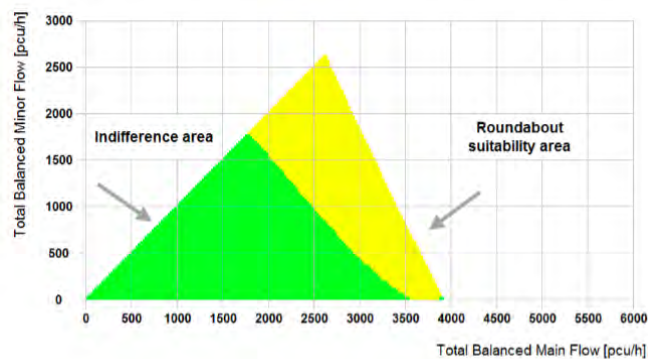
Πίνακας 3.1 Ποσοστά επιλογής λωρίδων από ελιγμούς σε βασικό turbo κυκλικό κόμβο

Η σύγκριση μεταξύ των κόμβων αποδόθηκε με την σύγκριση της μέσης τιμής του ελέγχου των καθυστερήσεων και συγκεκριμένα με την εξίσωση του 2^{ου} κεφαλαίου (2.5). Ο υπολογισμός της μέσης καθυστέρησης δεν παρουσιάζει προβλήματα για την περίπτωση του κυκλικού κόμβου turbo ενώ για την περίπτωση του συμβατού κόμβου

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)

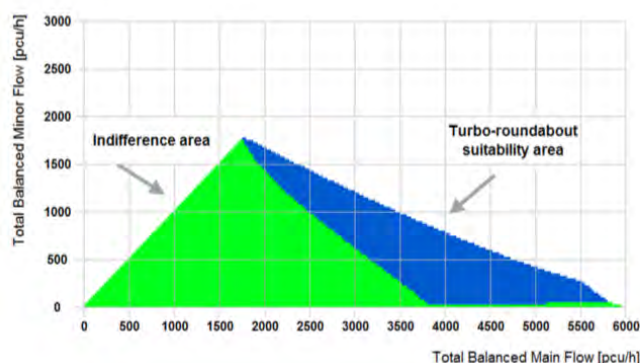
διπλής λωρίδας η μέση τιμή ελέγχου των καθυστερήσεων υπολογίστηκε σε συνάρτηση με την ολική χωρητικότητα εισόδου και τον αντίστοιχο βαθμό κορεσμού.

Το σχήμα 2.11 δείχνει την επικράτεια καταλληλότητας για τις 3 κυκλοφοριακές συνθήκες. Το κίτρινο τμήμα είναι για την καταλληλότητα του κόμβου διπλής λωρίδας και αντιστοιχεί στην περίπτωση όπου οι καθυστερήσεις είναι κάτω του 50%, το μπλε τμήμα ανταποκρίνεται στην περίπτωση όπου οι καθυστερήσεις στους turbo κυκλικούς κόμβους είναι μικρότερες του 50% ενώ σ' όλες τις περιπτώσεις το πράσινο αντιπροσωπεύει μια κατάσταση όπου ούτε η καταλληλότητα του κόμβου διπλής λωρίδας αλλά ούτε η καταλληλότητα του turbo κυκλικού κόμβου έχει επιβεβαιωθεί οπότε δεν μπορούν να βγουν ευνοϊκά συμπεράσματα για τους κυκλικούς κόμβους turbo ή για τους συμβατούς κόμβους διπλής λωρίδας.



Case a				
O/D	1	2	3	4
1	0	0.33	0.33	0.33
2	0.33	0	0.33	0.33
3	0.33	0.33	0	0.33
4	0.33	0.33	0.33	0

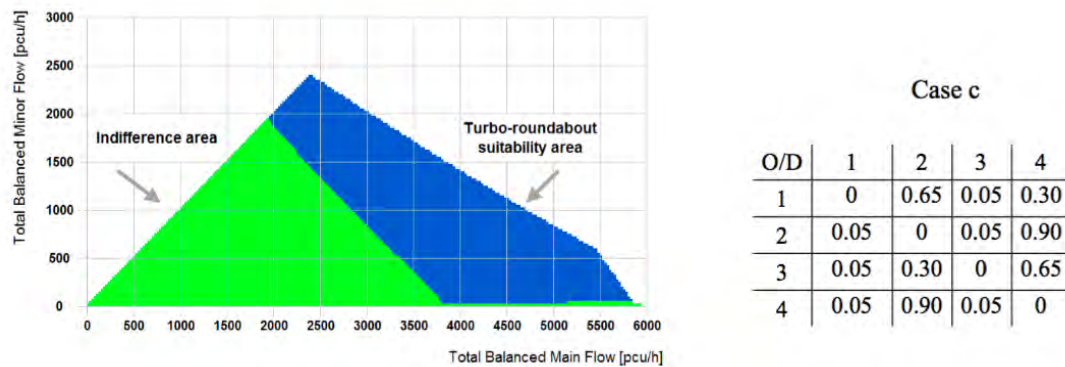
Σχήμα 3.1 Παράδειγμα τομέα καταλληλότητας για την περίπτωση 1



Case b				
O/D	1	2	3	4
1	0	0.30	0.05	0.65
2	0.05	0	0.05	0.90
3	0.05	0.65	0	0.30
4	0.05	0.90	0.05	0

Σχήμα 3.1.1 Παράδειγμα τομέα καταλληλότητας για την περίπτωση 2

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)



Σχήμα 3.1.2 Παράδειγμα τομέα καταλληλότητας για την περίπτωση 3

Σε κυκλοφοριακές καταστάσεις όπου ο πίνακας matrix προέλευσης/προορισμού είναι σε ισορροπία (Σχήμα 2.11) ο κυκλικός κόμβος διπλής λωρίδας είναι πιο αποδοτικός απ' ό,τι ο κυκλικός κόμβος turbo ειδικά όταν υψηλές ροές κυκλοφορίας εισάγονται στον δακτύλιο από την κύρια οδό και χαμηλές ροές κυκλοφορίας εισάγονται απ' την μικρότερη οδό αυξάνοντας τις ροές κυκλοφορίας. Οι συμβατικοί κόμβοι διπλής λωρίδας είναι πάλι πιο αποδοτικοί από τους turbo κυκλικούς κόμβους εάν η κυκλοφοριακή ροή εισέρχεται απ' την κύρια οδό και κυμαίνεται εντός μεσαίων τιμών. Για την εισαγόμενη κίνηση που κυμαίνεται από χαμηλές έως μεσαίες τιμές και οι 2 κόμβοι είναι εξίσου αποδοτικοί χωρίς ξεκάθαρα οφέλη για κανένα απ' τους δύο.

Σε κυκλοφοριακές καταστάσεις όπου οι κινήσεις κατευθυνόμενων στην κύρια οδό επικρατούν των άλλων κινήσεων (Σχήμα 2.11.1 και 2.11.2 περιπτώσεις 2 και 3 οι κυκλικοί κόμβοι turbo παρέχουν ευνοϊκότερες λειτουργικές συνθήκες έναντι των κυκλικών κόμβων διπλής λωρίδας με τι ίδιες ποσότητες εισαγόμενης κίνησης. Σ' αυτές τις περιπτώσεις οι καθυστερήσεις είναι μικρότερες για τους κυκλικούς κόμβους turbo απ' ό,τι στους συμβατικούς κόμβους διπλής λωρίδας όταν υψηλές ροές κυκλοφορίας εισάγονται από τους κύριους οδούς και μικρές ροές εισάγονται από τις μικρούς οδούς. Αυξάνοντας την ροή κίνησης από την μικρή οδό οι κυκλικοί κόμβοι turbo πάλι αποδίδουν καλύτερα εάν η ροή έρχεται από την κύρια οδό όπου οι τιμές κυμαίνονται ανάμεσα σε μεσαίες (ή σχετικά ψηλές τιμές). Για τις εισαγόμενες ροές

κυκλοφορίας που κυμαίνονται από χαμηλές έως μεσαίες τιμές οι 2 κόμβοι προσφέρουν ισοδύναμες αποδόσεις για την συγκεκριμένη σύγκριση.

Είναι φανερό ότι τα επικρατέστερα αποτελέσματα είναι επηρεασμένα από τις υποθέσεις που υιοθετήθηκαν στην αρχή της ανάλυσης ειδικά για την συμπεριφορά των κυκλικών κόμβων turbo που μέχρι τώρα μόνο κάποια πειραματικά δεδομένα είναι διαθέσιμα. Παρ' όλα αυτά και πάντα μέσα στα όρια της θεωρητικής μελέτης η σύγκριση μπορεί να είναι έγκυρη εάν μας πληροφορεί αποτελεσματικά για την καταλληλότητα επιλογής βασικού turbo απ' τον κόμβο διπλής λωρίδας.

3.2 Μελέτη συμπεριφοράς των οδηγών μέσα στον κυκλικό κόμβο turbo

Εξαιτίας του αρχικού χαρακτήρα της Πολωνικής έρευνας για την ανάλυση συμπεριφοράς των οδηγών στους turbo κυκλικούς κόμβους αφού επιλέχθηκαν οι τοποθεσίες για την έρευνα παρατηρήθηκε ότι είχαν αξιοσημείωτη γεωμετρική ποικιλία και παρόμοια οργάνωση κίνησης. Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του εξεταζόμενου κόμβου φαίνονται στον πίνακα 2.4. Οι τιμές πάρθηκαν στο τμήμα εισόδου των 2 λωρίδων προς τον κόμβο, μέσα στον κυκλοφοριακό δακτύλιο αλλά και στην έξοδο. Στην πλειοψηφία των κόμβων η έξοδος στ' αριστερά πραγματοποιείται από την εσωτερική λωρίδα, η έξοδος στα δεξιά πραγματοποιείται μόνο απ' την εξωτερική λωρίδα ενώ η δια μέσου κίνηση χρησιμοποιεί και τις 2 λωρίδες. Όλοι οι κυκλικοί κόμβοι ήταν σχεδιασμένοι όπως οι κυκλικοί κόμβοι turbo και συναντούν τις απαιτήσεις των ολλανδικών οδηγών.

	Κυκλικός Κόμβος	Swilcza 1	Swilcza 2	Stalowa wola	Bielsko Biala	Chorzow	Chrzanow	Tarnow
1	Διαχωρισμός λωρίδων στην οδό του κόμβου	Υπερυψωμένα κράσπεδα με σταθερές γραμμές στις 2 πλευρές	Πλατιά υπερυψωμένα κράσπεδα με σταθερές γραμμές στις 2 πλευρές	Ψηλά κράσπεδα με σταθερές γραμμές	Χαμηλά κράσπεδα	Χαμηλά κράσπεδα με σταθερές γραμμές	Οριζόντια σήμανση μόνο	Οριζόντια σήμανση μόνο
2	Διαχωρισμό λωρίδων στις εισόδους του κόμβου	Υπερυψωμένα κράσπεδα	Υπερυψωμένα κράσπεδα	Υπερυψωμένα κράσπεδα/σήμανση	Οριζόντια σήμανση	Οριζόντια σήμανση	Οριζόντια σήμανση	Οριζόντια σήμανση
3	Σχέδιο λωρίδων στην οδό του κόμβου	Έλλειψη	Έλλειψη	Σπιράλ Αρχιμήδη	Σπιράλ Αρχιμήδη	Έλλειψη	Έλλειψη	Έλλειψη

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)

4	Πλάτος λωρίδας κόμβου	5.0	5.0	5.5	5.0	5.0	5.0	5.0
5	Εξωτερική διάμετρος	60	60	72	43.5	52	48	52
6	Εσωτερική διάμετρος	32	32	44	24	32	24	32
7	Απόκλιση της εσωτερικής τροχιάς	8.7	17.3	17.3	18.8	5.0	9.6	9.0
8	Απόκλιση της εξωτερικής τροχιάς	10.2	19.0	19.0	21.5	6.5	10.9	10.5
9	Πληροφορίες πινακίδων	Στάνταρντ +ειδικές πινακίδες	Συμβατικές πινακίδες στην προσέγγιση	Συμβατικές πινακίδες στην προσέγγιση	Συμβατικές πινακίδες στην είσοδο	Ειδικές πινακίδες	Συμβατικές πινακίδες στην προσέγγιση	Συμβατικές πινακίδες στην προσέγγιση
10	Οριζόντια διαγράμμιση	Βέλη (συμβατή σήμανση)	Βέλη (συμβατή σήμανση)	Βέλη (συμβατή σήμανση)	Βέλη (συμβατή σήμανση)	Βέλη (συμβατή σήμανση)	Βέλη (συμβατή σήμανση)	Βέλη (συμβατή σήμανση)

Πίνακας 3.2 Γνωρίσματα του εξεταζόμενου κόμβου

3.2.1 Η άποψη των οδηγών για τους κυκλικούς κόμβους turbo

Σύμφωνα με τις γνώμες των οδηγών – χρηστών των κυκλικών κόμβων turbo είναι πολύ ασφαλείς δίκτυα λόγω των παρακάτω λόγων:

- Οι οδηγοί ακολουθούν όλη την ώρα την δική τους λωρίδα
- Δεν υπάρχει δυνατότητα ελιγμών στον κυκλοφοριακό δακτύλιο
- Είναι πάντα ξεκάθαρο για το ποιος έχει προτεραιότητα
- Δεν υπάρχει ανησυχία και αμφιβολίες κατά την οδήγηση στην εσωτερική λωρίδα του δακτυλίου
- Χαμηλότερες ταχύτητες σε σχέση με τους κοινούς κυκλικούς κόμβους πολλαπλών λωρίδων
- Εάν χρησιμοποιούνται φωτεινοί σηματοδότες είναι εύκολα κατανοητοί και σχεδόν αλάνθαστοι.

3.3 Εσωτερικά ή εξωτερικά μίας αστικής περιοχής

Όταν γίνεται λόγος για κυκλικούς κόμβους και δη για κυκλικούς κόμβους turbo είναι σημαντικό να γίνει διάκριση μεταξύ κόμβων εσωτερικού και εξωτερικού μίας αστικής περιοχής για δύο κύριους λόγους:

- 1) Αργές κυκλοφοριακές ροές πεζών και ποδηλατών συχνά δίνουν το παρόν σε κυκλικούς κόμβους στο εσωτερικό μίας αστικής περιοχής. Επομένως είναι κοινή

πρακτική αυτές οι ροές να συμπεριλαμβάνονται σε μελέτες μόνο στο εσωτερικό μίας αστικής περιοχής. Σε μοντέλα κυκλικών κόμβων στο εξωτερικό μίας αστικής περιοχής αργές κυκλοφοριακές ροές συχνά αποκλείονται.

2) Στην Ολλανδία οι κυκλικοί κόμβοι στο εσωτερικό μίας αστικής περιοχής εξοπλίζονται με πλευρικές διαγραμμίσεις ενώ δεν ισχύει το ίδιο για τους κόμβους στο εξωτερικό μίας αστικής περιοχής. Αυτό έχει συνέπειες στον σχεδιασμό των κυκλικών κόμβων turbo. Πιο συγκεκριμένα η παρουσία μίας διαγραμμισμένης λωρίδας έχει συνέπειες στο κυκλοφοριακό πλάτος αλλά και στην διάμετρο του κυκλικού κόμβου. Η διάμετρος επηρεάζει τον απαιτούμενο χώρο της διασταύρωσης όπου είναι ένα από τα πιο αξιολογήσιμα κριτήρια.

Εγκαθιστώντας φωτεινούς σηματοδότες η βασική κυκλοφοριακή ροή στους κυκλικούς κόμβους αλλάζει, η προτίμηση λωρίδας δεν δίδεται στα οχήματα μέσα στον δακτύλιο αλλά στα οχήματα στις κυκλοφοριακές ροές όπου κυριαρχεί το πράσινο. Αυτή η αλλαγή της κυκλοφοριακής ροής επηρεάζει την χωρητικότητα και είναι προς διερεύνηση. Από την άλλη μεριά οι αργές κυκλοφοριακές ροές επηρεάζουν επίσης την χωρητικότητα του κόμβου αλλά με εντελώς διαφορετικό τρόπο. Επιπλέον οι ολλανδικές οδηγίες σχεδιασμού αποθαρρύνουν την δημιουργία ποδηλατοδρόμου μονού επιπέδου και πεζοδιαβάσεων σε turbo κυκλικούς κόμβους (Crow 2008). Ειδικά στους τύπους ρότορα και αστέρι που είναι οι μεγαλύτεροι τύποι και περιέχουν 3 λωρίδες για 1 σκέλος εισόδου. Το να διασχιστούν 3 λωρίδες εισόδου μονομιάς είναι αρκετά έντονη και επικίνδυνη διαδικασία για πεζούς και ποδηλάτες.

Κεφάλαιο 4: Εξοπλισμός, σήμανση και επιμέρους στοιχεία των κυκλικών κόμβων turbo

Ένα βασικό συστατικό για την άψογη διεξαγωγή της κυκλοφορίας ενός κυκλικού κόμβου turbo είναι ο εξοπλισμός. Ο εξοπλισμός βασίζεται στις ίδιες ιδέες και αρχές που διέπουν μια οποιαδήποτε διασταύρωση. Τα συστατικά του εξοπλισμού ενός κυκλικού κόμβου turbo που τοποθετούνται επί της οδού ή δίπλα απ' αυτήν έχουν ως στόχο την ανάκαμψη του λειτουργικού επιπέδου, την ασφάλεια αλλά και την σωστή ενημέρωση και εκμάθηση των οδηγών.

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)

Η σωστή τοποθέτηση του εξοπλισμού είναι βασική προϋπόθεση για ασφάλεια και οδική άνεση. Η περίπτωση συντήρησης όταν δημιουργούνται φθορές θα πρέπει να είναι άμεσες ενώ ο εκσυγχρονισμός του εξοπλισμού έχει ως στόχο να βελτιώνονται οι συνθήκες ασφαλείας για τα οχήματα.

Απ' ότι γίνεται εύκολα αντιληπτό η διαδικασία εξοπλισμού είναι άκρως σημαντική αφού είναι συνδεδεμένη με το οδικό δίκτυο, τους χρήστες, τα οχήματα αλλά και την οδική ασφάλεια επηρεάζοντας κατά έναν μεγάλο βαθμό τις σχέσεις αλληλεπίδρασης όλων αυτών των στοιχείων. Κάθε παρουσία ενός κυκλικού κόμβου turbo προαναγγέλλεται σε οδηγούς, πεζούς και ποδηλάτες ώστε αυτοί να καθοδηγήσουν την πορεία τους με την βοήθεια της απαιτούμενης σήμανσης.

Ακόμα το παρόν κεφάλαιο αναφέρεται στα επιμέρους στοιχεία των κυκλικών κόμβων turbo όπως οι νησίδες (κεντρική-διαχωριστική), πεζοδιαβάσεις, ποδηλατόδρομοι κ.α. Το σχήμα 4.1 δίνει ένα παράδειγμα εξοπλισμού σ' έναν κυκλικό κόμβο turbo.



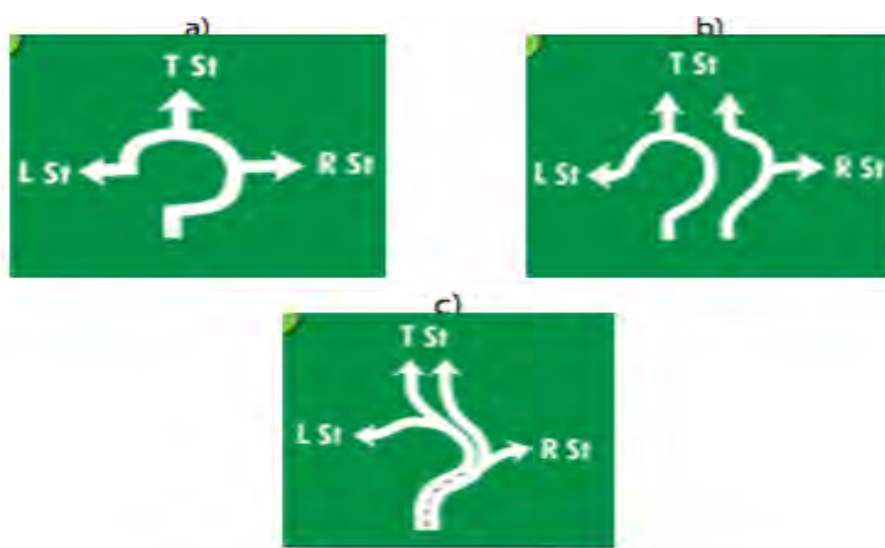
Εικόνα 4.1 Παράδειγμα εξοπλισμού turbo κυκλικού κόμβου

4.1 Πινακίδες κυκλοφορίας

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο δεν επιτρέπεται η αλλαγή λωρίδας μέσα στον δακτύλιο του κόμβου. Έτσι επιλέγοντας την λωρίδα εισόδου καθορίζεται ο τρόπος κίνησης του οχήματος. Επομένως το αναγκαίο στοιχείο που χαρακτηρίζει έναν κυκλικό κόμβο turbo είναι οι κάθετες και οριζόντιες κυκλοφοριακές πινακίδες

που πληροφορούν τον οδηγό αρκετά πριν την λωρίδα εισαγωγής που θ' ακολουθήσει όταν πλησιάσει τον κόμβο με σκοπό να συνεχίσει την οδήγηση προς τον επιλεγμένο προορισμό (σχήμα 4.2).

Έτσι προειδοποιητικές πινακίδες τοποθετούνται στις εισόδους των κόμβων πολλαπλών λωρίδων όπου εξαρτώμενη από τον τύπο κόμβου διαφορετικές παραλλαγές μπορούν να προκύψουν. Ωστόσο η κάθε εκδοχή δίνει έμφαση όχι μόνο στον κυκλοφοριακό χαρακτήρα αλλά και τον αριθμό και προορισμό της κυκλοφοριακής λωρίδας.



Σχήμα 4.2 Παράδειγμα πινακίδων πριν την είσοδο στον κόμβο πολλαπλών λωρίδων

Γενικά οι κυκλικοί κόμβοι turbo εφοδιάζονται με τις συμβατικές πινακίδες που μπορεί να είναι κάθετες ή οριζόντιες. Στην κατηγορία των κάθετων πινακίδων ανήκουν οι: κυκλικές κυκλοφοριακές πινακίδες (C-12), οι πινακίδες προτεραιότητας (A-7), οι πινακίδες πριν τους κόμβους, οι πινακίδες ενημέρωσης πεζών και οι πινακίδες επί της νησίδας διαχωρισμού. Επιπλέον κάποιες εισοδοί σε κυκλικούς κόμβους turbo έχουν πινακίδες με τις κατευθύνσεις των λωρίδων (F-10). Μερικοί κόμβοι δεν διαθέτουν κάθετες πινακίδες που να δείχνουν την κατεύθυνση αλλά είναι τοποθετημένες σε κολώνες ή σε πλαίσια πάνω απ' τις λωρίδες.

Ένα σημαντικό στοιχείο όπου δημιουργεί την μορφή του κόμβου είναι οι οριζόντιες πινακίδες όπου δεν έχουν προσδιοριστεί σε μία σχετιζόμενη διάταξη. Ένα παράδειγμα οριζόντιας πινακίδας είναι τα βέλη διεύθυνσης που χρησιμοποιούνται για

να υποδείξουν ότι η οδήγηση επιτρέπεται μόνο κατά της διεύθυνσης που υποδεικνύει το βέλος.

Σ' αυτό το σημείο αναπτύσσονται κάποιες ερωτήσεις που πρέπει ν' αναρωτηθεί ο μελετητής – σχεδιαστής μηχανικός όσον αφορά τις πινακίδες και αυτές είναι:

- Είναι οι πινακίδες επαρκείς και εύκολα κατανοητές;
- Υπάρχει συνοχή μεταξύ των πινακίδων ώστε να παρέχουν σαφήνεια κατά την προσέγγιση;
- Υπάρχουν οι κατάλληλες προειδοποιητικές πινακίδες που τοποθετήθηκαν στην κατάλληλη απόσταση;
- Μπορούν οι πινακίδες να γίνουν αντιληπτές εξ' αποστάσεως ή η διαμόρφωση τοπίου εμποδίζει την ορατότητα;
- Είναι οι πινακίδες κατάλληλες για την ταχύτητα σχεδιασμού;

4.1.1 Συμβατικές πινακίδες κυκλικών κόμβων

Οι εννέα τύποι συμβατικών πινακίδων που χρησιμοποιούνται στους κυκλικούς κόμβους αναλύονται παρακάτω ώστε να παρατηρηθεί η χρήση τους για τον καθένα ξεχωριστά:

1) Πινακίδα ενημέρωσης παρουσίας κόμβου

Είναι συνήθως η πιο μακρινή απ' την λωρίδα προσέγγισης και με αντίθετη κατεύθυνση από το ρεύμα κυκλοφορίας (σχήμα 4.3). Οι πινακίδες αυτές υποδεικνύουν έναν κόμβο αλλά δεν προσφέρουν πληροφορίες για την διαμόρφωση του. Συμβουλευτικές πινακίδες ταχύτητας μπορεί να συνοδεύουν τις πινακίδες ενημέρωσης κόμβου.



Εικόνα 4.3 Πινακίδα ενημέρωσης παρουσίας κόμβου στις Η.Π.Α.

2) Πινακίδες καθοδήγησης

Οι πινακίδες καθοδήγησης δίνουν πληροφορίες για τον προορισμό των οχημάτων (σχήμα 4.4.). Υπάρχουν 3 τύποι που είναι: οι συμβατικοί (conventional), οι διαγραμματικοί (diagrammatic) και ο τρίτος τύπος που μπορεί να συνδυάζει τον προορισμό και τις πληροφορίες σχετικά με την χρήση λωρίδας. Οι πινακίδες καθοδήγησης στην πλειοψηφία τους είναι διαγραμματικοί και μπορούν να τοποθετηθούν 150 με 200 μέτρα πριν από τον κόμβο ώστε να ενημερώσουν τους οδηγούς για είσοδο στον επικείμενο κόμβο.



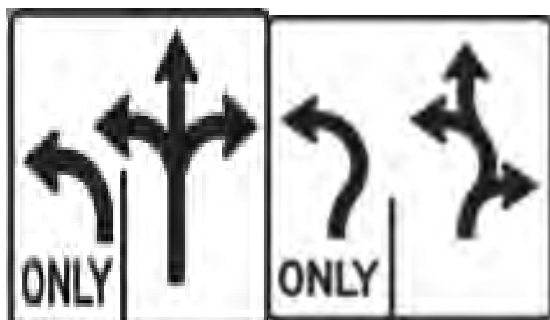
Σχήμα 4.4 Συμβατικές και διαγραμματικές πινακίδες καθοδήγησης

3) Πινακίδες για ένδειξη προτεραιότητας

Τυπικά οι πινακίδες προτεραιότητας μπορούν να εγκατασταθούν στο σημείο προσέγγισης του κόμβου. Είναι εγκατεστημένες σαν μόνιμες πινακίδες αλλά μπορούν να εγκατασταθούν και σαν προσωρινές για να προειδοποιήσουν τους χρήστες για τον νέο κόμβο ή σαν βοηθητικές προειδοποιητικές πινακίδες ταχύτητας.

4) Πινακίδες ελέγχου χρήσης λωρίδας

Αυτές οι πινακίδες χρησιμοποιούνται για να παρουσιάσουν την επιλογή εισόδου σε λωρίδα κυκλικού κόμβου. Μπορεί να είναι δύο ειδών: οι στάνταρντ και ο τύπος αγκίστρι ψαρέματος. Το σχήμα 4.5 παρουσιάζει ένα παράδειγμα στάνταρντ και αγκίστρι ψαρέματος. Οι πινακίδες τύπου αγκίστρι αναπτύχθηκαν στην Αμερική όπου εγκαθίστανται πριν τον κόμβο ώστε οι οδηγοί να κάνουν σωστή επιλογή λωρίδας.



Σχήμα 4.5 Παράδειγμα πινακίδων στάνταρντ και αγκίστρι

5) Πινακίδες παραμονής στην δεξιά λωρίδα

Χρησιμοποιούνται στο τέλος της διαχωριστικής νησίδας και ενημερώνουν τους οδηγούς για την πορεία των οχημάτων. Ένα παράδειγμα φαίνεται στην εικόνα 4.6



Εικόνα 4.6 Πινακίδα παραμονής στην δεξιά λωρίδα (keep right)

6) Πινακίδες προειδοποίησης πεζών

Γενικά οι πινακίδες προειδοποίησης ύπαρξης πεζών χρησιμοποιούνται όπου υπάρχουν πεζοδιαβάσεις. Σε κάποιες χώρες εγκαθίστανται πριν τις διαβάσεις πεζών στην είσοδο και έξοδο του κυκλικού κόμβου. Ένα παράδειγμα μίας τέτοιας πινακίδας ακολουθεί στην παρακάτω εικόνα 4.7



Εικόνα 4.7 Πινακίδα προειδοποίησης πεζών

7) Πινακίδες προτεραιότητας

Είναι απ' τις πιο σημαντικές πινακίδες στους κυκλικούς κόμβους και πληροφορούν τους οδηγούς για την παράδοση προτεραιότητας στην κυκλοφοριακή κίνηση. Μία τέτοια πινακίδα φαίνεται στην εικόνα 4.8. Όπου και όταν απαιτείται 2 πινακίδες πρέπει να εγκαθίστανται σε κάθε είσοδο ειδικά σε κόμβους πολλαπλών λωρίδων. Συνήθως η αριστερή γίνεται πιο ορατή διότι οι οδηγοί κοιτάνε αριστερά κατά την είσοδο τους στον κυκλικό κόμβο.



Εικόνα 4.8 Πινακίδα

προτεραιότητας (yield)

8) Πινακίδες στην κεντρική νησίδα

Οι πινακίδες στην κεντρική νησίδα είναι βέλη κατεύθυνσης που δείχνουν την κατεύθυνση την κίνησης στον κυκλοφοριακό δακτύλιο. Παράδειγμα μιας τέτοιας πινακίδας φαίνεται στο παρακάτω εικόνα (4.9).



Εικόνα 4.9 Βέλη κατεύθυνσης επί της κεντρικής νησίδας

9) Πινακίδες εξόδου

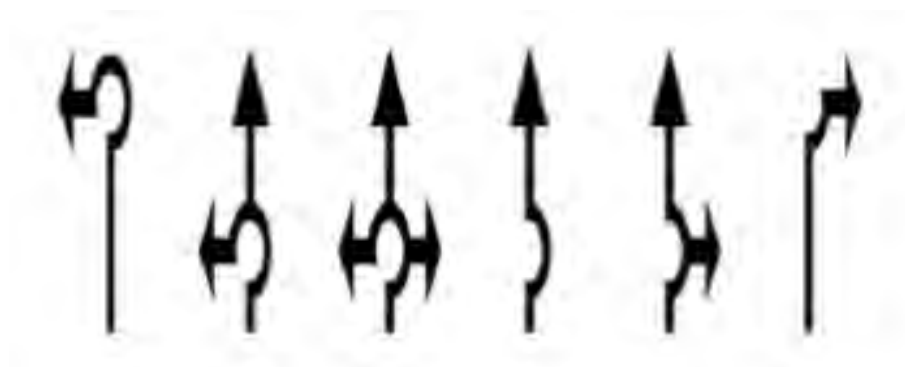
Οι πινακίδες εξόδου (εικόνα 4.10) επιβεβαιώνουν την επιλογή εξόδου απ' τον κόμβο. Συνήθως εγκαθίστανται στις διαχωριστικές νησίδες και μερικές φορές εγκαθίστανται παράπλευρα της οδού.



Εικόνα 4.10 Πινακίδες εξόδου στο Ηνωμένο Βασίλειο

4.1.2 Διαγράμμιση του οδοστρώματος

Η διαγράμμιση του οδοστρώματος αποτελεί κρίσιμο χαρακτηριστικό όπου διασφαλίζεται η κατανόηση των διαθέσιμων διαδρομών. Πάνω σ' αυτό ο Fortuijn το 2011 τόνισε ότι είναι απαραίτητη μαζί με τις πινακίδες προ-διασταύρωσης η χρήση επεξηγήσεων μορφής βέλους που αναπαριστούν την πληροφορία που αναφέρεται στις πινακίδες. Αυτά τα βέλη τύπου αγκίστρι (fish-hook) πρέπει να τοποθετούνται σε κάθε μία λωρίδα εισόδου, να διαχωρίζονται σε ομάδες τουλάχιστον 4 διαδοχικών μονάδων και να διαθέτουν διαστάσεις συμβατές με την ταχύτητα των 50 km/h (CROW 2005). Η χρήση αυτού του είδους διαγράμμισης είναι περιττή εντός του κυκλικού δακτυλίου και φυσικά δεν προτείνεται. Η παρακάτω φωτογραφία (σχήμα 4.11) αναπαριστά τα βέλη σήμανσης που χρησιμοποιούνται στις λωρίδες εισόδου.



Σχήμα 4.11 Βέλη σήμανσης που χρησιμοποιούνται στις λωρίδες εισόδου

4.2 Φωτισμός

Ο φωτισμός είναι ευρείας χρήσης στους κυκλικούς κόμβους turbo διότι η κεντρική νησίδα παρουσιάζεται ως εμπόδιο στην κυκλοφοριακή κίνηση και έτσι πρέπει να γίνει αντιληπτή από κάποια απόσταση. Κατά την διάρκεια της νύχτας με ασθενείς προβολείς αυτό δεν είναι δυνατόν. Για να λειτουργήσει ικανοποιητικά ένας κόμβος πρέπει ο οδηγός να εισέλθει, να κινηθεί μέσω δακτυλίου και να αποκλίνει από την ροή με ασφαλές και αποδοτικό τρόπο. Για να το πετύχει αυτό πρέπει ν' αντιληφθεί την γενική διάταξη και λειτουργία σε τέτοιο χρόνο ώστε να κάνει όλες τις απαραίτητες κινήσεις. Έτσι ικανοποιητικός φωτισμός πρέπει να παρέχεται σε όλους του κυκλικούς κόμβους. Το βράδυ ο κόμβος πρέπει να γίνεται αντιληπτός όπως και κατά την διάρκεια της ημέρας.

Η θέση του δημόσιου φωτισμού πρέπει να κάνει τον κόμβο αναγνωρίσιμο. Εάν ο δρόμος που οδηγεί στον κόμβο δεν είναι φωτισμένος είναι καλύτερο να τοποθετηθεί φωτισμός επί του δρόμου. Γενικά είναι προτιμότερο να τοποθετείται φωτισμός έξω απ' τον κυκλικό κόμβο ώστε να μην παραπλανά τον σχεδιασμό του αλλά και να παρατηρείται καλύτερα η γενική του εικόνα. Κάποιες επιπρόσθετες συστάσεις όσον αφορά τον φωτισμό είναι οι εξής:

- Έξω από κατοικήσιμες περιοχές οι συνδεδεμένοι δρόμοι πρέπει να είναι φωτισμένοι πάνω από τουλάχιστον 80 με 100 μέτρα (περίπου 3 κολώνες με φως). Αυτό βοηθά τους οδηγούς να προσαρμόζουν την όραση τους απ' το φωτισμένο περιβάλλον των κόμβων ξανά στο εσωτερικό σκοτεινό περιβάλλον στην έξοδο. Ακόμα απαγορεύεται η ύπαρξη μιας κοντινής και σκοτεινής περιοχής ανάμεσα σε 2 συνεχόμενες φωτεινές περιοχές.
- Για να τονιστεί το σχήμα του δακτυλίου ενός κυκλικού κόμβου χρειάζονται περίπου 8 κολώνες φωτισμού υπό κανονικές συνθήκες.
- Καλός φωτισμός πρέπει να παρέχεται κατά την προσέγγιση στον κόμβο, σ' όλα τα εμπλεκόμενα τμήματα όπου εισάγεται η ροή κίνησης αλλά και στα μέρη εξόδου της κίνησης.
- Ξεχωριστή εκτίμηση πρέπει να δίδεται στον φωτισμό πεζοδιαβάσεων και ποδηλατοδρόμων.
- Ο φωτισμός στο επίπεδο εδάφους στην κεντρική νησίδα μπορεί να βελτιώσει την ορατότητα ενός κυκλικού κόμβου.

- Η κεντρική νησίδα πρέπει να είναι πλήρως αναγνωρίσιμη για να γίνεται έγκαιρα αντιληπτή. Έτσι φωτεινές πινακίδες προτιμώνται.

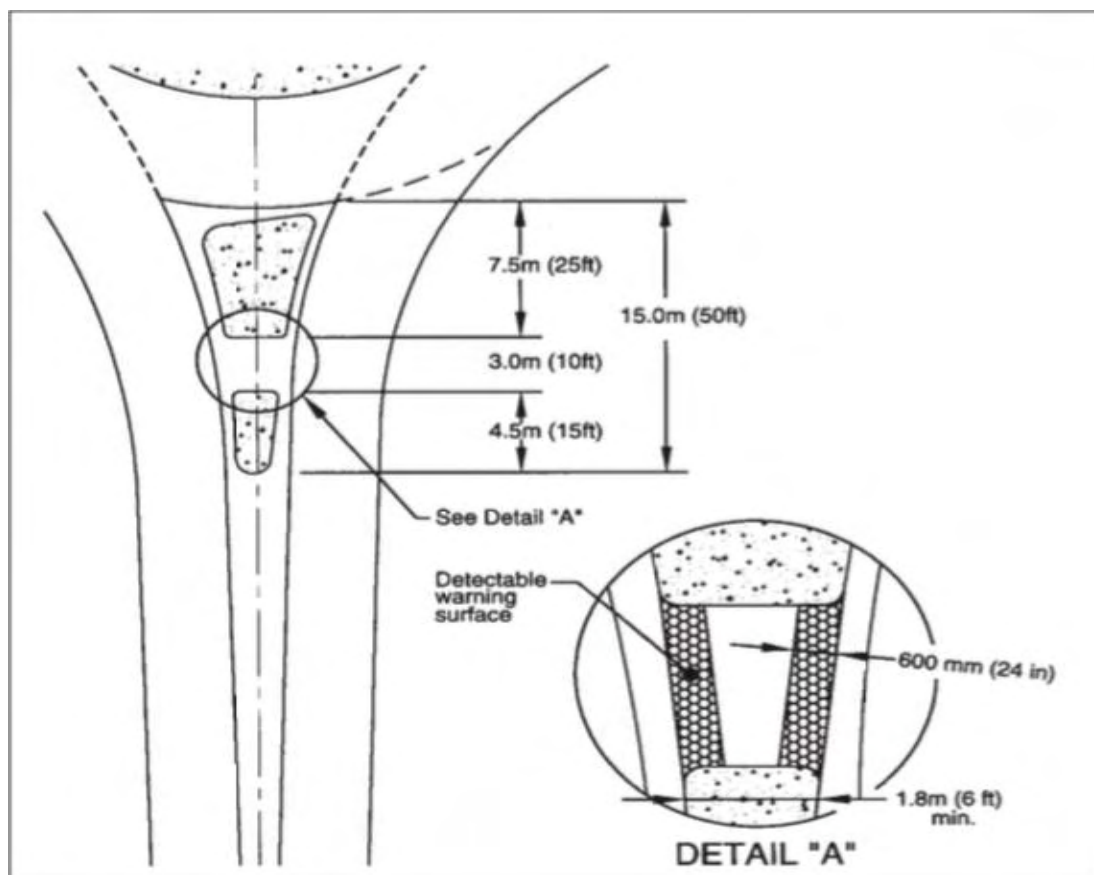


Εικόνα 4.12 Φωτισμός σε κυκλικό κόμβο

4.3 Νησίδα διαχωρισμού

Η νησίδα διαχωρισμού (ή διαχωριστική νησίδα ή ενδιάμεση νησίδα) εφοδιάζει όλους τους κυκλικούς κόμβους turbo εκτός αυτών με πολύ μικρή διάμετρο και σκοπός της είναι να προσφέρει «καταφύγιο» στους πεζούς (συμπεριλαμβανομένου τα αναπηρικά αμαξίδια ΑΜΕΑ, ποδήλατα και βρεφικά καροτσάκια). Ακόμα παρέχει βοήθεια στον έλεγχο της ταχύτητας, οδηγεί την κίνηση μέσα στον κόμβο, συμβάλλει στον φυσικό διαχωρισμό ροής εισόδου και εξόδου και αποτρέπει τυχόν λανθασμένες κινήσεις και χρησιμοποιείται για το στήριγμα πινακίδων.

Το ολικό μήκος της πρέπει να είναι τουλάχιστον 15 μέτρα (50 πόδια) ώστε να παρέχει προστασία στους πεζούς αλλά και να ειδοποιεί τους πεζούς για την προσέγγιση τους στον κόμβο. Επίσης πρέπει να επεκτείνεται στο τέλος της καμπύλης εξόδου για να αποτρέπει την έξοδο κυκλοφορίας από τυχαία διέλευση στην πορεία της πλησιέστερης κίνησης. Η εικόνα 4.13 απεικονίζει τις ελάχιστες διαστάσεις μιας διαχωριστικής νησίδας σε κυκλικό κόμβο μονής λωρίδας συμπεριλαμβανομένου τις πεζοδιαβάσεις.



Σχήμα 4.13 Ελάχιστες διαστάσεις μιας νησίδας διαχωρισμού

Αυξάνοντας το πλάτος της νησίδας έχει σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερο διαχωρισμό μεταξύ της κυκλοφοριακής ροής εισόδου και εξόδου του ίδιου σκέλους και αυξάνει τον χρόνο των οδηγών να διακρίνουν τα εξερχόμενα οχήματα μέσα στον κόμβο. Μ' αυτόν τον τρόπο μεγαλύτερες διαχωριστικές νησίδες μπορούν να βοηθήσουν στην μείωση της σύγχυσης για τους οδηγούς εισόδου. Μια μελέτη του τμήματος κύριων δρόμων του Κουίνσλαντ έδειξε ότι μεγιστοποιώντας το πλάτος της νησίδας διαχωρισμού έχει κορυφαία επίδραση στην ελαχιστοποίηση των δεικτών ατυχημάτων για οχήματα εισόδου – κυκλοφορίας (ήδη υπάρχων στον κόμβο). Ωστόσο αυξάνοντας το πλάτος νησίδας διαχωρισμού απαιτεί και αύξηση της εγγεγραμμένης διαμέτρου κύκλου. Αυτά τα προνόμια ασφαλείας μπορούν να εξισορροπηθούν με υψηλότερα κατασκευαστικά κόστη και υψηλότερη επίδραση εδάφους.

Οι οδηγίες με τα στάνταρντ ASSHTO πρέπει ν' ακολουθούνται για την νησίδα διαχωρισμού. Αυτό περιλαμβάνει την χρήση μεγαλύτερων ακτινών στις γωνίες προσέγγισης ώστε να μεγιστοποιείται η ορατότητα της νησίδας αλλά και ν'

αντισταθμίζονται τα κράσπεδα στο τέλος της προσέγγισης για να δημιουργείται μια εικόνα τούνελ.



Εικόνα 4.14 Κυκλικός κόμβος Turbo στην Ολλανδία με ύπαρξη πρασίνου στις νησίδες διαχωρισμού

4.4 Κεντρική νησίδα

Η κεντρική νησίδα ενός κυκλικού κόμβου turbo είναι το υπερυψωμένο μη διασχιζόμενο τμήμα περιβαλλόμενο από έναν κυκλοφοριακό δακτύλιο. Αυτήν η έκταση μπορεί να περιλαμβάνει διασχιζόμενη επιφάνεια για μεγάλα οχήματα. Η κεντρική νησίδα είναι τυπικά διαμορφωμένη για αισθητικούς κυρίως λόγους αλλά και για να αυξήσει την αντίληψη του οδηγού κατά την προσέγγιση του στον κόμβο. Οι κεντρικές νησίδες πρέπει πάντα να είναι υπερυψωμένες και όχι χαμηλωμένες αφού έτσι είναι δύσκολο να αναγνωριστούν από τους οδηγούς.

Γενικά το μέγεθος της κεντρικής νησίδας παίζει πρωτεύον ρόλο στον καθορισμό του εμπλεκόμενου φόρτου των οχημάτων στον κόμβο. Η διάμετρος είναι εξαρτώμενη εξ' ολοκλήρου από το πλάτος του δακτυλίου και εάν γνωστοποιηθεί η διάμετρος, το πλάτος και γενικά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά εισόδου τότε μπορεί να σχεδιαστεί η κεντρική νησίδα.

Εάν η ταχύτητα συντομότερης διαδρομής ξεπερνά την ταχύτητα σχεδιασμού τότε η κεντρική νησίδα χρειάζεται να αυξηθεί μεγαλώνοντας την διάμετρο του. Υπάρχουν

και άλλες μέθοδοι βέβαια χωρίς την αύξηση της διαμέτρου όπως είναι: ρύθμιση της γραμμής προσέγγισης στα αριστερά μειώνοντας το πλάτος εισόδου ή μειώνοντας την ακτίνα εισόδου. Αυτές οι λύσεις όμως μπορεί να αποκλείουν την ικανότητα προσαρμογής των οχημάτων. Έτσι σε περιπτώσεις προτεραιότητας, τοπογραφίας ή άλλων περιορισμών που αποκλείουν την ικανότητα μεγέθυνσης της διαμέτρου μία αναρτήσιμη επιφάνεια μπορεί να προστεθεί στο εξωτερικό όριο της κεντρικής νησίδας όπου διασχίζεται από μεγάλα οχήματα. Η εικόνα 4.15 δείχνει μια κεντρική νησίδα με διασχιζόμενη επιφάνεια.



Εικόνα 4.15 Turbo κυκλικός κόμβος στο Άμστερνταμ με διασχιζόμενη επιφάνεια στην κεντρική νησίδα

Όταν χρησιμοποιούνται διασχιζόμενες επιφάνειες στην κεντρική νησίδα πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να διασχίζονται από τα μεγάλα οχήματα αλλά και να αποθαρρύνονται οι οδηγοί των οχημάτων από την χρήση τους. Για την αποθάρρυνση χρήσης από τα οχήματα πρέπει η εξωτερική άκρη να είναι υπερυψωμένη κατά 30 mm και το πλάτος τους κυμαίνεται από 1 έως 4 μέτρα.

Γενικά οι κυκλικοί κόμβοι σε περιβάλλον υπαίθρου χρειάζονται μεγαλύτερες κεντρικές νησίδες απ' ό,τι οι αστικοί για να αυξάνουν την ορατότητα των οδηγών και να καταστήσουν ικανό τον σχεδιασμό καλύτερης γεωμετρίας προσβάσεων.

4.5 Πεζοδιαβάσεις και ποδηλατόδρομοι

Οι χρήστες των πεζοδιαβάσεων και ποδηλατοδρόμων στους κυκλικούς κόμβους turbo έχουν την ευκαιρία της αναμονής και αυτό παίζει σημαντικό ρόλο. Ο κανόνας του αντίχειρα όπου πρέπει να είναι τουλάχιστον 1 δευτερολέπτου μεταξύ του κύκλου παρατήρησης-απόφασης-δράσης (και προτιμότερο 2 δευτερόλεπτα) παρέχει μία καλή βάση για σχεδιασμό. Ακόμη σημαντικό στην εφαρμογή αυτήν είναι η προϋπόθεση ότι η χρονική στιγμή δεν πρέπει να γίνεται μεγάλη ώστε άλλοι συντελεστές όπως η αύξηση ταχύτητας ή η επίδραση του αιφνιδιασμού να μην έχουν αρνητική επίδραση.

Στην Ολλανδία οι οδηγίες υποδεικνύουν την μικρότερη απόσταση 5 μέτρων μεταξύ του κυκλοφοριακού δακτυλίου και του ποδηλατοδρόμου. Πρέπει γενικά να δίδεται προτεραιότητα στους ποδηλάτες αλλά όταν οι οδηγοί μοτοποδηλάτου-ποδηλάτου δεν έχουν προτεραιότητα τότε η απόσταση μέχρι τον δακτύλιο υπολογίζεται από λογικές υποθέσεις. Εδώ πρέπει να κατανοηθεί ότι ο ποδηλατόδρομος δεν είναι μέρος του ίδιου δρόμου όπως ο κύριος δακτύλιος του κυκλικού κόμβου. Στην Ολλανδία αυτό είναι ακριβώς το ίδιο με το σημείο όπου η εξωτερική ακτίνα του κόμβου συναντά την πλευρά εξόδου της λωρίδας. Συνήθως αυτήν η απόσταση είναι 6 μέτρα. Οι ολλανδικοί κανόνες συνιστούν την χρήση των 10 μέτρων για απόσταση μεταξύ δακτυλίου και του ποδηλατοδρόμου.

Οι πεζοδιαβάσεις είναι πάντοτε τοποθετημένες πιο μακριά απ' τον κυκλικό κόμβο και δίπλα στον ποδηλατόδρομο. Εάν οι ποδηλάτες έχουν την προτεραιότητα, ένα πέρασμα τύπου ζέβρας (διαβάσεις) δίνει στους πεζούς προτεραιότητα έναντι των οχημάτων. Προς διευκρίνιση, οι πεζοί πρέπει να δίνουν προτεραιότητα στα οχήματα εκτός κατοικημένων περιοχών

Όταν υπάρχουν περισσότερες από μία λωρίδες είναι αρεστό για την κυκλοφορία ποδηλάτων να έχουν πρόσβαση σε διαφορετικά επίπεδα. Αφού σημειωθεί ότι η ασφάλεια είναι το κυριότερο πρόβλημα στους ποδηλατόδρομους σε διασταυρώσεις ρυθμιζόμενες από φωτεινούς σηματοδότες, η έκδοση CROW 126 αναφέρει λύσεις όπου η κίνηση ποδηλάτου διασχίζει δύο λωρίδες προσέγγισης και μόνο μία λωρίδα εξόδου. Πρέπει να γίνει η διερώτηση εάν η λύση όπου η ποδηλατική κίνηση θα διέσχισε δύο λωρίδες εξόδου θα ήταν στοιχειώδες διαφορετική. Η έκδοση συνιστά ότι θα ήταν αν και αυτό δεν είναι σημαντικό από τα στατιστικά των ατυχημάτων. Όταν ο ποδηλατόδρομος τοποθετείται σε σωστή απόσταση το να διασχιστεί μια διπλή λωρίδα θα μπορούσε κάποιες φορές να είναι πιο επικίνδυνο. Η στατιστική

ατυχημάτων εξάλλου παρέχει μη αποδεικτικά στοιχεία ότι η έξοδος είναι πιο επικίνδυνη από ότι η πρόσβαση για τους ποδηλάτες που δίνουν προτεραιότητα.

Εύλογο ωστόσο είναι να βγει η κατάληξη ότι η διάσχιση διπλής λωρίδας είναι αυτόματα πιο επικίνδυνη από την διάσχιση μονής λωρίδας και ότι δεν ενδείκνυται η κατασκευή ποδηλατόδρομου εντός του κόμβου. Σκεπτόμενοι ότι είναι σημαντικός ο χρόνος παρατήρησης και απόφασης μεταξύ των δύο περασμάτων όπου είναι περισσότερος από 2 δευτερόλεπτα ενώ ο ποδηλάτης είναι σε θέση για το 2^ο πέρασμα με τέτοιο τρόπο όπου έχει καλή εικόνα της μηχανοκίνητης κίνησης. Η εικόνα 4.16 αναπαριστά ποδηλατοδρόμο να διασχίζει την διαχωριστική νησίδα.



Εικόνα 4.16 Ποδηλατοδρόμος διασχίζει την νησίδα διαχωρισμού σε turbo κυκλικό κόμβο

4.6 Σημεία προσεγγίσεων

Σύμφωνα με τις Ολλανδικές οδηγίες οι προσεγγίσεις στους κυκλικούς κόμβους turbo πρέπει να ευθυγραμμίζονται σε σωστή γωνία με τον κόμβο και λόγω της κίνησης ενός μεγάλου οχήματος αυτές οι γωνίες πρέπει να είναι 90°. Αξιοσημείωτο είναι ότι οι προσεγγίσεις υπό γωνία 90° είναι συχνά δύσκολο να προγραμματιστούν ειδικά σε περιπτώσεις ανακατασκευής των ήδη υπαρχουσών κυκλικών κόμβων διπλής λωρίδας όπου είναι εγκατεστημένοι σε χώρους με σημαντικούς χωροταξικούς περιορισμούς. Επιπλέον οι προσεγγίσεις πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε η ταχύτητα του οχήματος που διαπερνά τον κόμβο να μην υπερβαίνει την ανώτερη επιτρεπόμενη τιμή. Στις Κροατικές οδηγίες, στις Σλοβένικες προδιαγραφές και το σέρβικο εγχειρίδιο σχεδιασμού δεν παρέχονται λεπτομερείς οδηγίες για την θέση των προσεγγίσεων σε έναν κόμβο.

Σύμφωνα με ένα γερμανικό έγγραφο οι άξονες των προσεγγίσεων πρέπει να διασταυρώνονται με το γεωμετρικό κέντρο του κόμβου αλλά δεν διευκρινίζεται υπό

ποιες γωνίες. Οι κυριότερες παράμετροι που ορίζουν τις προσεγγίσεις των κυκλικών κόμβων turbo είναι: το πλάτος λωρίδας εισόδου και εξόδου, το πλάτος της διαχωριστικής νησίδας και οι ακτίνες εισόδου και εξόδου (όπως π.χ. οι ακτίνες καμπυλότητας των άκρων του δρόμου μεταξύ των προσεγγίσεων του κόμβου και του κυκλοφοριακού δακτυλίου. Όλες αυτές οι παράμετροι πρέπει να επιλέγονται με βάση το μέγεθος του κόμβου. Στο γερμανικό εγχειρίδιο τα πλάτη λωρίδων εισόδου και εξόδου ορίζονται ως εξής: Για μονή λωρίδα οι λωρίδες εισόδου έχουν 4 μέτρα πλάτος και οι λωρίδες εξόδου 4.5 μέτρα πλάτος ενώ για την περίπτωση διπλής λωρίδας εισόδου και εξόδου οι λωρίδες εισόδου έχουν 3.5 μέτρα πλάτος και οι λωρίδες εξόδου έχουν 4 μέτρα.

Σύμφωνα με τις ολλανδικές οδηγίες το ελάχιστο πλάτος της διαχωριστικής νησίδας ανέρχεται στα 2.5 μέτρα και οι ελάχιστες ακτίνες καμπυλών εισόδου και εξόδου στα 10 μέτρα ενώ για τις Κροατικές, Σλοβένικες και Σέρβικες οδηγίες το πλάτος της διαχωριστικής νησίδας μειώνεται στα 2 μέτρα και οι ελάχιστες ακτίνες καμπυλότητας εισόδου είναι στα 12 μέτρα και εξόδου στα 15 . Από τις Γερμανικές οδηγίες οι ακτίνες καμπυλότητας εισόδου κυμαίνονται από 14 μέχρι 16 μέτρα και οι ακτίνες καμπυλότητας εξόδου από τα 16 έως τα 20 μέτρα αντίστοιχα.

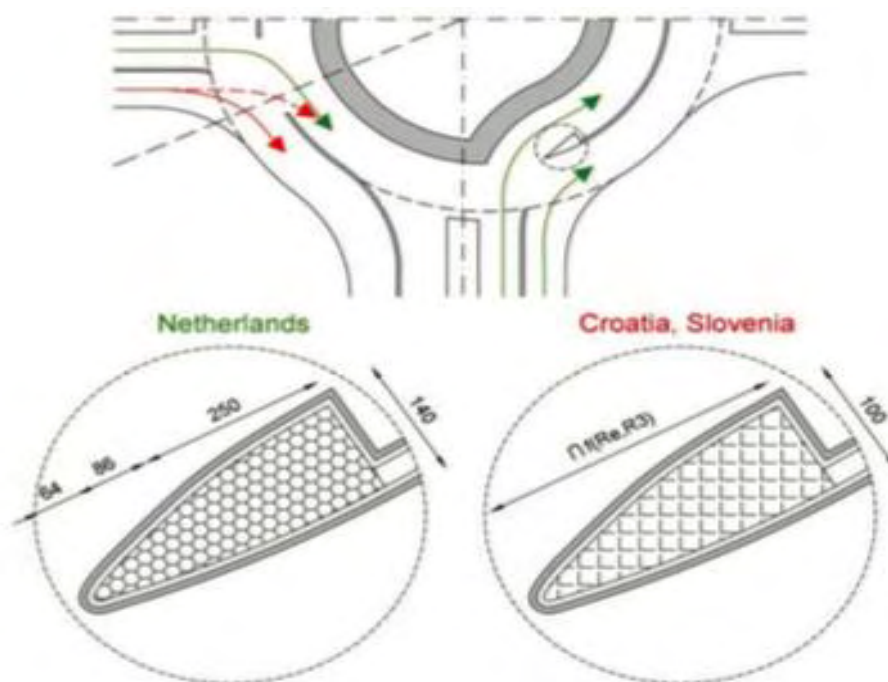
4.7 Υπερυψωμένα διαχωριστικά λωρίδας

Σύμφωνα με Σλοβένους μελετητές οι χώρες με κυκλικούς κόμβους turbo διαχωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες: Χώρες που χρησιμοποιούν υπερυψωμένα διαχωριστικά λωρίδας και χώρες όπου αποφεύγονται τα διαχωριστικά λωρίδας. Οι χώρες της τελευταίας κατηγορίας ισχυρίζονται ότι έχουν λιγότερο ικανοποιητικές εμπειρίες με τους κυκλικούς κόμβους turbo επειδή η σήμανση του δρόμου δεν αποτρέπει την αλλαγή λωρίδας. Οι Γερμανοί δε ισχυρίζονται ότι η χρήση των υπερυψωμένων διαχωριστικών λωρίδων δεν είναι αποδεκτή λόγω της ασφάλειας των μοτοσικλετιστών, της χειμερινής συντήρησης και γενικά των απαιτήσεων συντήρησης και ότι η απουσία αυτών των στοιχείων δεν έχει μεγάλη επιρροή στην κίνηση, ασφάλεια και χωρητικότητα της διασταύρωσης.

Οι Ολλανδικές και Κροατικές οδηγίες, οι Σλοβένικες τεχνικές προδιαγραφές αλλά και το σέρβικο εγχειρίδιο σχεδιασμού συνιστούν την χρήση υπερυψωμένων διαχωριστικών λωρίδων. Σύμφωνα με τον Fortuijn τα διαχωριστικά πρέπει να

σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε τα οχήματα να μπορούν να οδηγούν ακόμα και πάνω άπαυτά χωρίς ζημιές αλλά την ίδια στιγμή να δημιουργούν και αρκετή ενόχληση ώστε να αποθαρρύνουν τέτοιες συμπεριφορές στις περισσότερες των περιπτώσεων. Μια μελέτη από τον ίδιο έδειξε ότι διαχωριστικά πλάτους 30 cm και ύψος 7 cm είναι το καλύτερο δυνατό.

Σε turbo κυκλικούς κόμβους εκτός αστικών κέντρων η εγκατάσταση ειδικού σχεδιασμένου διασχιζόμενου υλικού στην αρχή των διαχωριστικών λωρίδων συνίσταται. Αυτό το στοιχείο αποτρέπει τον ελιγμό της κυκλοφοριακής κίνησης στον δακτύλιο και διευκολύνει το πέρασμα μεγάλων οχημάτων μέσα στον κόμβο. Η εικόνα 4.17 αναπαριστά την εγκατάσταση του ειδικά σχεδιασμένου υλικού στην αρχή των διαχωριστικών.



Σχήμα 4.17 Αναπαράσταση προσθήκης ειδικά σχεδιασμένου υλικού στην αρχή των διαχωριστικών λωρίδας

Σύμφωνα με τις ολλανδικές οδηγίες το πρότυπο μήκος του διασχίσιμου υλικού στα διαχωριστικά λωρίδας είναι τα 4 μέτρα. Στις Κροατικές και σλοβένικες οδηγίες αυτό το μήκος δεν έχει διευκρινιστεί είναι μόνο αξιοσημείωτο ότι η καμπυλότητα του εξαρτάται από τις εφαρμοσμένες ακτίνες καμπύλης εισόδου και την ακτίνα εξωτερικής κυκλοφοριακής λωρίδας. Αυτό το σχέδιο προσέγγισης είναι ουσιαστικά καλύτερο γιατί ο εκάστοτε σχεδιαστής μπορεί να επιλέξει ένα τυχαίο μήκος όπου θα

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)

χωρέσει την διαδρομή κυκλικής κίνησης και την ίδια ώρα θα εμποδιστούν οι ελιγμοί στον δακτύλιο. Οι εικόνες 4.18 και 4.19 απεικονίζουν υπερυψωμένα διαχωριστικά λωρίδας κατά την είσοδο και έξοδο στον δακτύλιο.



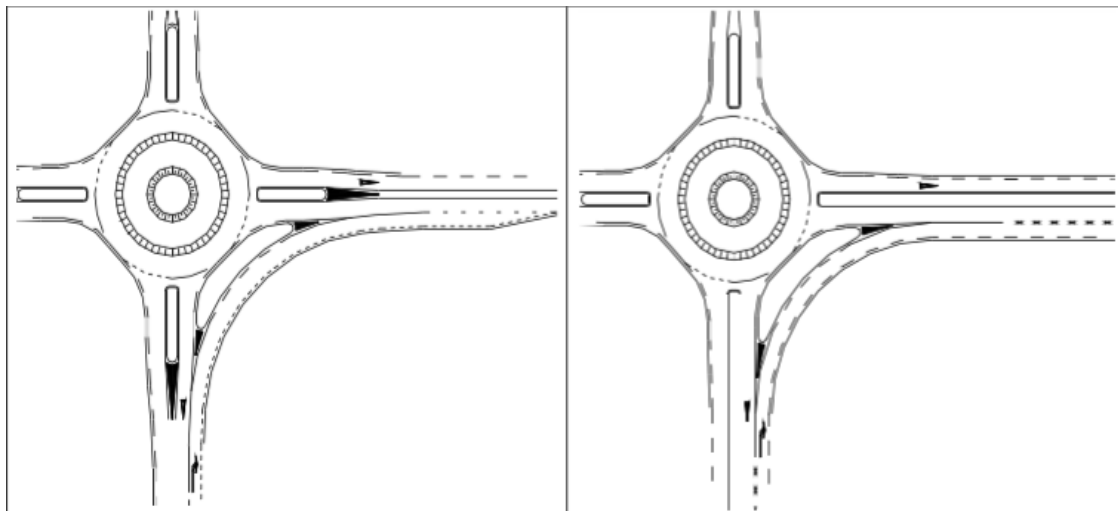
Εικόνα 4.18 Υπερυψωμένο διαχωριστικό λωρίδας κατά την είσοδο



Εικόνα 4.19 Υπερυψωμένο διαχωριστικό λωρίδας κατά την έξοδο

4.8 Παρακαμπτήρια οδός (Bypass)

Η χρήση μιας παρακαμπτήριου οδού είναι η μέθοδος για να βελτιωθεί η συνολική χωρητικότητα μιας λωρίδας όπου μια σημαντική ροή κίνησης αναμένεται. Αυτήν η παράκαμψη πλευρικώς του κόμβου και ανάμεσα από δύο συνδεδεμένους δρόμους αναφέρεται σαν bypass. Το σχήμα 4.20 απεικονίζει ένα παράδειγμα παρακαμπτήριου οδού και είναι σημαντική μόνο όταν η ροή δεξιόστροφης κίνησης είναι μεγάλη.



Σχήμα 4.20 Τύποι παρακαμπτήριων οδών

Η παροχή της δεξιόστροφης λωρίδας της παρακαμπτήριου οδού επιτρέπει την παράκαμψη του κόμβου παρέχοντας επιπρόσθετη χωρητικότητα για την κίνηση μέσα στον κόμβο ή αριστερόστροφα. Ωστόσο είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη η ανάλυση της κυκλοφοριακής διάταξης κατά την διάρκεια της χρονικής περιόδου αντίστροφης κορύφωσης. Για να αποφασιστεί εάν θα χρησιμοποιηθεί μια λωρίδα bypass πρέπει πρώτα να γίνουν οι απαραίτητοι υπολογισμοί χωρητικότητας και καθυστερήσεων.

Οι παρακαμπτήριοι οδοί δεν είναι εύκολο να συνδυαστούν με παράλληλες εγκαταστάσεις κατά μήκος του δρόμου (παράδρομοι, ποδηλατόδρομοι κ.α.). Μια λωρίδα bypass αυξάνει τον αριθμό των σημείων εμπλοκής με τους πεζούς και ποδηλάτες. Επιπλέον η ταχύτητα είναι γενικά υψηλότερη επομένως είναι ενδεδειγμένο να περιοριστεί η χρήση των bypass σε καταστάσεις με καθόλου ή περιορισμένους ποδηλάτες ή πεζούς.

Η ακτίνα της δεξιόστροφης λωρίδας bypass δεν πρέπει να είναι υπερβολικά μεγαλύτερη από ότι η ακτίνα εισόδου που παρέχεται απ' τον κόμβο. Αυτό θα

εξασφαλίζει ότι οι ταχύτητες των οχημάτων στην λωρίδα bypass είναι περισσότερο ή λιγότερο ίδιες με τις ταχύτητες των οχημάτων που περνάνε απ' τον κόμβο έχοντας σαν αποτέλεσμα κινήσεις ασφαλείας στους 2 δρόμους. Η μικρή ακτίνα παρέχει επίσης μεγαλύτερη ασφάλεια σε περιπτώσεις πεζών που πρέπει να διασχίσουν το bypass. Τέλος η λωρίδα bypass πρέπει πάντα να διαχωρίζεται φυσικά απ' τον κυκλοφοριακό δακτύλιο. Παρακάτω στην εικόνα 4.21 αναπαρίσταται ένα παράδειγμα bypass.



Εικόνα 4.21 Παράδειγμα bypass

Κεφάλαιο 5: Άλλοι δείκτες αποδοτικότητας

Η απόδοση ενός κυκλικού κόμβου turbo θα πρέπει να εκτιμάται βασισμένη σε διάφορους δείκτες αποδοτικότητας. Μέχρι αυτήν την στιγμή την προσοχή έχουν τραβήξει η χωρητικότητα και ο χρόνος των καθυστερήσεων. Το παρόν κεφάλαιο αναφέρεται στην περιβαλλοντική ευαισθησία, γίνεται υπολογισμός των αέριων ρύπων και κάνει λόγο για την οπτική όχληση, την ομαλή ροή διάταξης σπирάλ, τις επιπτώσεις των φωτεινών σηματοδοτήσεων αλλά και την στιβαρότητα με την κίνηση ενός μεγάλου οχήματος στον κυκλικό κόμβο turbo.

5.1 Περιβαλλοντική ευαισθησία

Σκεπτόμενοι τα πλεονεκτήματα από άποψη περιβαλλοντικής ευαισθησίας μπορεί ν' αναφερθεί ότι υπάρχουν 2 βασικές κατηγορίες: Αυτό της μείωσης επιβάρυνσης της ατμόσφαιρας και αυτό της αισθητικής. Σύμφωνα με την λειτουργία τους οι κυκλικοί κόμβοι turbo έχουν φέρει μείωση των αέριων ρύπων CO₂, CO, NO_x έναντι των σηματοδοτούμενων διασταυρώσεων. Με βάση την βιβλιογραφία (Fortujin 2013) αυτό γίνεται γιατί ο αριθμός των στάσεων – ακινητοποιήσεων οχημάτων σε σηματοδοτούμενες διασταυρώσεις είναι αρκετά μεγαλύτερος απ' ότι ο αριθμός των στάσεων- ακινητοποιήσεων οχημάτων σε μία μη σηματοδοτούμενη διασταύρωση. Έτσι τα οχήματα πρέπει να επιταχύνουν και να επιβραδύνουν πιο συχνά σε σηματοδοτούμενες διασταυρώσεις με τους μη σηματοδοτούμενους κόμβους να μειώνουν αισθητά την ατμοσφαιρική ρύπανση αλλά και τον θόρυβο. Γενικά οι σηματοδοτούμενες διασταυρώσεις αποδίδουν χειρότερα απ' ότι οι μη σηματοδοτούμενοι κόμβοι και συνάμα οι κυκλικοί κόμβοι turbo.

Από άποψης αισθητικής οι turbo κυκλικοί κόμβοι λόγω της χρήσης πρασίνου που κάνουν αλλά και λόγω της διαμορφωμένης νησίδας αποτελούν μια ελκυστική επιλογή λόγω αποδοχής από μεριάς των πολιτών.

5.1.1 Αέρια ρύπανση και υπολογισμός των εκπομπών

Ως αέρια ρύπανση ονομάζεται η παρουσία μιας ρυπογόνου ουσίας στην ατμόσφαιρα και βρίσκεται σε επαρκή συγκέντρωση για επαρκή χρόνο και κάτω απ' ορισμένες συνθήκες όπου τείνει να παρέμβει στην ανθρώπινη υγεία και ευημερία και προκαλεί περιβαλλοντολογική καταστροφή. Η αέρια ρύπανση μπορεί να προκαλέσει όξινη βροχή, αιθαλομίχλη και καταστροφή του όζοντος.

Η βασική αιτία της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι ο ανθρώπινος παράγοντας με σημαντική συμβολή την κυκλοφορία των οχημάτων να επιβαρύνουν το περιβάλλον με ρύπους όπως μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οξείδιο του αζώτου (NO_x), το διοξείδιο του θείου (SO₂), οι υδρογονάνθρακες, η αιθάλη κ.α.

Η αέρια ρύπανση εξαρτάται απ' την κυκλοφορία λόγω:

- της κυκλοφοριακής φόρτισης
- τα είδη των οχημάτων και την κατάσταση των κινητήρων τους

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)

- της ποιότητας του καυσίμου
- τον τρόπο οδήγησης
- της δημιουργίας σκόνης απ' την κίνηση των οχημάτων

Έτσι κάποιοι τρόποι αντιμετώπισης για την ελάττωση της αέριας ρύπανσης είναι:

- Μικρή διάρκεια σχηματισμών αναμονής-ξεκινήματος και μανουβρών φρεναρίσματος
- Μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και βελτίωση των συνθηκών κυκλοφορίας
- Χρήση ευγενέστερου καυσίμου (φυσικό αέριο) και βελτίωση ποιότητας των υγρών καυσίμων
- Έλεγχος πηγών ρύπανσης
- Ενημέρωση και πληροφόρηση κοινού

Για τον υπολογισμό των εκπομπών αέριων ρύπων χρησιμοποιείται η μέθοδος της «ειδικής ισχύς του οχήματος» (vehicle specific power). Αυτό το μοντέλο επιτρέπει τον υπολογισμό των στιγμιαίων ρύπων βασισμένο στην δυναμική του οχήματος μέσα από δεδομένα στιγμιαίων ρύπων. Οι τιμές της ειδικής ισχύς του οχήματος είναι κατηγοριοποιημένες σε 14 κλιμάκια και 1 συντελεστής εκπομπών για κάθε κλιμάκιο χρησιμοποιείται για να βρεθούν οι εκπομπές CO₂ CO NO_x και HC (υδρογονάνθρακες). Η παρακάτω εξίσωση υπολογίζει τις εκπομπές και είναι:

$$VSP = v \cdot [1.1 \cdot \alpha + 9.81 \sin(\arctan(\text{grade})) + 0.132] + 0.000302 \cdot v^3$$

(31)

όπου: VSP = ειδική ισχύ οχήματος (kW/ton)

v =στιγμιαία ταχύτητα (m/s)

α = στιγμιαία επιτάχυνση ή επιβράδυνση (m/s²)

grade = κλίση εδάφους

Ο υπολογισμός της ωριαίας εκπομπής αερίων από οχήματα που εισέρχονται στον κόμβο υπολογίζεται από:

$$E_{TR} = Q_{in} \cdot (E_i P_i + E_{ii} P_{ii} + E_{licia}) \quad (32)$$

Όπου: E_{TR} = ωριαίες εκπομπές στον turbo κυκλικό κόμβο

Q_{in} = Δείκτης ροής εισόδου

E_i = Εκπομπή ανά όχημα συνδεδεμένου με το εκάστοτε προφίλ I, II και III

P_i = Ποσοστό οχημάτων με το υφιστάμενο προφίλ I, II και III

5.1.2 Οπτική όχληση

Η κατασκευή ενός κυκλικού κόμβου turbo πρέπει να μελετάται σαν σύστημα που προσαρμόζεται στο περιβάλλον μιας περιφέρειας. Έτσι με την ίδια λογική γίνεται και για τον οπτικό σχεδιασμό δηλαδή πρώτα το δίκτυο να θεωρείται μέρος ενός τοπίου και ύστερα να συνυπάρχει ειρηνικά με τα γύρω του χαρακτηριστικά. Έτσι οι αισθητικοί παράγοντες πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν κατά το αρχικό στάδιο της σχεδίασης. Αφού στόχος είναι ο μέγιστος δυνατός περιορισμός εις το ελάχιστο της οπτικής όχλησης μπορούν να διακριθούν οι λόγοι μείωσης της:

- Όταν ο κόμβος εναρμονίζεται με το περιβάλλον
- Όταν δεν τοποθετούνται μεγάλες πινακίδες
- Τα στοιχεία του εκάστοτε κόμβου συμφωνούν με την δόμηση του τοπίου
- Όταν οι επιφάνειες των κόμβων διαμορφώνονται πολεοδομικά ικανοποιητικά
- Όταν η βλάστηση φυτεύεται τηρούμενη των απαραίτητων μηκών ορατότητας

5.2 Ομαλή ροή διάταξης σπирάλ

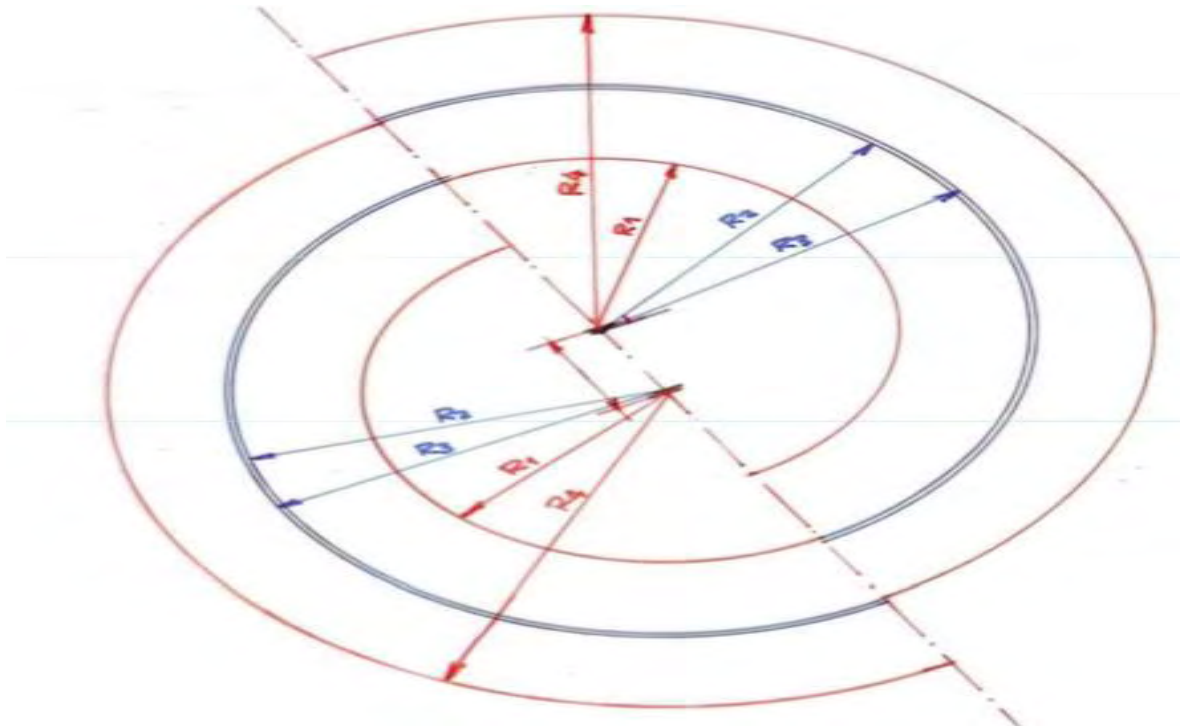
Η χρήση διάταξης σπирάλ αποτελεί χαρακτηριστικό του γεωμετρικού σχεδιασμού των κυκλικών κόμβων turbo (χαρακτηριστικό 3). Η πρακτική του σπирάλ προσφέρει πλεονεκτήματα όχι μόνο όσον αφορά την ασφάλεια αλλά και στην οδική άνεση. Η εικόνα 5.1 απεικονίζει την σπирάλ διάταξη ενός κόμβου.



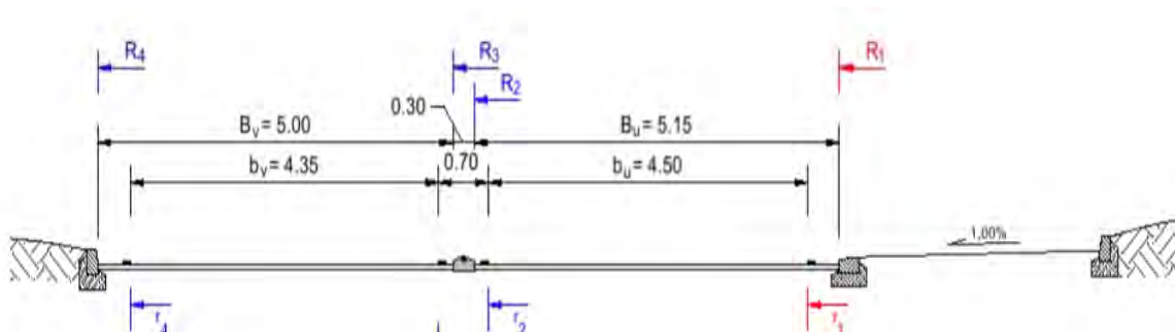
***Εικόνα 5.1** Κόμβος με σπирάλ διάταξη*

Ο σχεδιασμός ενός κυκλικού κόμβου turbo εμπλέκει την δημιουργία μιας λογικής πορείας του οχήματος μετατοπίζοντας τα κέντρα των κύκλων που αντιπροσωπεύουν τα τμήματα τροχιάς κατά μήκος ενός άξονα μεταφοράς. Ο συνδυασμός αυτού του άξονα και των κύκλων σχηματίζει ένα στοιχείο σχεδίασης που ονομάζεται turbo block. Η εικόνα 5.2 αναπαριστά την λεπτομέρεια του turbo block ενώ η εικόνα 5.3 απεικονίζει ένα παράδειγμα μιας τομής του οδοστρώματος:

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)



Σχήμα 5.2 Λεπτομέρεια Turbo block



Σχήμα 5.3 Παράδειγμα τομής οδοστρώματος

Ο τρόπος με τον οποίο τοποθετούνται τα κέντρα των κύκλων έχει να κάνει με τον βαθμό όπου οι λωρίδες μετατοπίζονται εξωτερικά όταν κινούνται γύρω απ' τον κόμβο. Στο πλαίσιο αυτό κάποιες γενικές παρατηρήσεις μπορούν να αποτυπωθούν με βάση την τεχνική του σχεδιασμού:

- Οι λωρίδες στον κόμβο τύπου «γόνατο» μετατοπίζονται απο μία λωρίδα υπό γωνία 360°
- Στον κυκλικό κόμβο τύπου «αυγό», στον βασικό κυκλικό κόμβο turbo και στον σπινάλ κυκλικό κόμβο οι λωρίδες μετατοπίζονται κατά μία υπό γωνία 180°
- Στον κυκλικό κόμβο τύπου «αστέρι» οι λωρίδες μετατοπίζονται κατά μία λωρίδα υπό γωνία 120°
- Στον κυκλικό κόμβο τύπου «ρότορα» οι λωρίδες μετατοπίζονται κατά μία λωρίδα υπο γωνία 90°

5.3 Επιπτώσεις φωτεινών σηματοδοτήσεων στον κόμβο

Οι κυκλικοί κόμβοι turbo είναι εξορισμού μη σηματοδοτούμενοι. Ωστόσο ο Fortuijn πρότεινε να εξοπλίσει τους κυκλικούς κόμβους turbo με φωτεινούς σηματοδότες. Η εγκατάσταση φαναριών δεν αλλάζει τον αριθμό των σημείων εμπλοκής αλλά ίσως αλλάξει την φύση αυτών. Στην περίπτωση της μη προστατευόμενης εμπλοκής οι περισσότεροι οδηγοί προσέχουν συνειδητά την ροή εμπλοκής ενώ στην περίπτωση της προστατευόμενης εμπλοκής πολλοί οδηγοί βασίζονται τυφλά στα κυκλοφοριακά σήματα αρνούμενοι να δώσουν προσοχή στην ροή εμπλοκής. Αυτό μπορεί να μειώσει τον φόρτο και την κυκλοφοριακή ασφάλεια του κόμβου.

Τα κυκλοφοριακά σήματα μπορεί να μην μειώνουν το οδικό καθήκον γιατί ο οδηγός δεν χρειάζεται να δώσει προσοχή στην ροή εμπλοκής αλλά να συγκεντρώσει την προσοχή του στην λωρίδα επιλογής ενώ την ίδια ώρα προσέχει και τα κυκλοφοριακά σήματα. Ωστόσο το θεωρούμενο οδικό καθήκον θα χειροτερέψει εάν τα σήματα εκλείψουν ή δείχνουν το πορτοκαλί. Σ' αυτήν την περίπτωση ο οδηγός πρέπει να προσέξει την λωρίδα επιλογής αλλά και την εμπλεκόμενη ροή και ίσως αναρωτιέται γιατί η κυκλοφοριακή σήμανση είναι εγκατεστημένη στην άκρη του δρόμου όπου απαιτείται ένα μέρος της ήδη περιορισμένης του προσοχής.

Μια απ' τις πιο σημαντικές αιτίες συγκρούσεων σε διασταυρώσεις με φωτεινούς σηματοδότες είναι η παραβίαση του κόκκινου σήματος.. Όταν το φανάρι μετατρέπεται από πράσινο σε πορτοκαλί οι οδηγοί στην προσέγγιση πρέπει να

αποφασίσουν εάν θα σταματήσουν ή θα οδηγήσουν μπαίνοντας στον κόμβο. Από την μία πλευρά εάν ο οδηγός αποφασίσει να σταματήσει αλλά ο οδηγός που ακολουθεί θέλει να συνεχίσει τότε μία σύγκρουση είναι πιθανή να συμβεί. Από την άλλη πλευρά εάν ένας βιαστικός οδηγός παρατηρήσει το πορτοκαλί και αποφασίσει να επιταχύνει τότε στην πραγματικότητα ίσως περάσει με κόκκινο όπου σ' αυτήν την περίπτωση ο χρόνος δεν είναι αρκετός για να αποτραπεί ένα ατύχημα.

Τα κυκλοφοριακά σήματα μπορούν επίσης να επηρεάσουν την ταχύτητα στον κόμβο. Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο ένας βιαστικός οδηγός ίσως επιταχύνει για να εισέλθει στον κόμβο κατά την φάση του πορτοκαλί. Έτσι η ταχύτητα στον κυκλικό κόμβο θα αυξηθεί και συνεπώς η ενδεχόμενη υπόθεση ατυχήματος. Η πιθανότητα ατυχήματος είναι μη αμελητέα σ' αυτήν την περίπτωση επειδή ο οδηγός περνάει με πορτοκαλί η στο 1^ο δευτερόλεπτο κόκκινου (ή δευτερόλεπτα). Μετά άπαυτές τις εκτιμήσεις οι παρακάτω υποθέσεις αναπτύχθηκαν:

1) Ένας μη σηματοδοτούμενος κυκλικός κόμβος είναι έμφυτα ασφαλέστερος από έναν σηματοδοτούμενο κυκλικό κόμβο

2) Η οδική εργασία είναι πιο σύνθετη σ' έναν μη σηματοδοτούμενο κυκλικό κόμβο απ' ότι σ' έναν σηματοδοτούμενο κυκλικό κόμβο.

3) Οι οδηγοί που προσεγγίζουν έναν μη σηματοδοτούμενο δίνουν συνειδητά προσοχή στην κίνηση του κόμβου

4) Α) Η άρνηση του κόκκινου σήματος σ' έναν σηματοδοτούμενο κυκλικό κόμβο προκύπτει σε τέτοια έκταση όπου η κυκλοφοριακή ασφάλεια χειροτερεύει

Β) Συγκρούσεις μούρης – ουράς σ' έναν σηματοδοτούμενο κυκλικό κόμβο προκύπτουν σε τέτοια έκταση όπου η κυκλοφοριακή ασφάλεια χειροτερεύει

5) Η μέση και η μέγιστη ταχύτητα σ' έναν σηματοδοτούμενο κόμβο είναι υψηλότερες απ' ότι η μέση και η μέγιστη ταχύτητα σ' έναν μη σηματοδοτούμενο κυκλικό κόμβο

Ο Fortuijn πρότεινε 2 ενδεχόμενα για σηματοδότηση των κυκλικών κόμβων turbo:

α) Μερική σηματοδότηση (1 μόνο σκέλος) και β) ολική σηματοδότηση (όλα τα σκέλη σηματοδοτημένα)

5.4 Στιβαρότητα

Το χαρακτηριστικό 5 (κάθε τομέας του σπειροειδή κόμβου περιλαμβάνει μια λωρίδα η κυκλοφορία της οποίας δύναται να επιλεγεί έξοδος ή συνέχιση της κυκλικής κίνησης) έπαιξε σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της ιδέας των turbo κυκλικών κόμβων αφού το βασικό θέμα ήταν να σχεδιαστεί ένας κυκλικός κόμβος που δεν είχε μόνο μεγαλύτερη χωρητικότητα από έναν κυκλικό κόμβο μονής λωρίδας αλλά θα είναι και αρκετά στιβαρό ώστε να χειριστεί τις μεταβολές στην κυκλοφοριακή φόρτωση. Αυτό έκανε απαραίτητως να συμπεριλάβει μια λωρίδα όπου οι οδηγοί θα έχουν την επιλογή της εξόδου ή της συνέχισης κυκλικά του κόμβου σε κάθε τμήμα.

Η ενσωμάτωση δύο εξόδων σε δύο λωρίδες (χαρακτηριστικό 6) απαιτείται για να δώσει στον κόμβο την επιθυμητή χωρητικότητα. Εννοιολογικά αυτήν η απαίτηση είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την προσφορά επιλογής κατεύθυνσης σε κάθε τμήμα. Από την άλλη μεριά όμως είναι αποδεκτός ο περιορισμός των λωρίδων στα σκέλη εξόδου για την διευκόλυνση του περάσματος τυχόν αργής κίνησης. Έτσι ζυγίζοντας αυτές τις συγκρουόμενες παραμέτρους έχει αποφασιστεί ότι ο αριθμός των 2 λωρίδων στα σκέλη εξόδου πρέπει να κρατείται στο ελάχιστο.

Έτσι τα χαρακτηριστικά 5 και 6 δεν θεωρούνται βασικά χαρακτηριστικά των κυκλικών κόμβων turbo καθώς η δημοσίευση CROW αριθμός 257 (CROW 2008) φέρει τον τίτλο εν μέρει κυκλικός κόμβος turbo. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται κάποιες διαστάσεις ενός βασικού κυκλικού κόμβου turbo:

Διαστάσεις	Standard (m)	Μεσαίος (m)
Πλάτος εσωτερικής λωρίδας στην αρχή	5.30	5.15
Πλάτος εσωτερικής λωρίδας στο τέλος	5.00	4.90
Πλάτος εξωτερικής λωρίδας	5.00	4.90
Διαφορά μεταξύ πλάτους λωρίδας και πλάτους μεταξύ σήμανσης λωρίδας	0.65	0.65
Διαχωριστικό πλάτους λωρίδας	0.30	0.30
Απόσταση μεταξύ κεντρικού σημείου για εσωτερική λωρίδα μεταφοράς	5.35	5.15
Απόσταση μεταξύ κεντρικού σημείου για εξωτερική λωρίδα μεταφοράς	5.05	4.95
Η μεγαλύτερη χαραγμένη διάμετρος	49.95	55.35
Η μικρότερη χαραγμένη διάμετρος	45.18	50.64

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)

Ακτίνα εισόδου και εξόδου	10.00	10.00
Ακτίνα εισόδου διαχωριστικού λωρίδας	12.00	12.00
Ακτίνα εξόδου διαχωριστικού λωρίδας	15.00	15.00
Πλάτος κεντρικής επιφάνειας (για οχήματα πάνω από 22 μέτρα)	5.00	5.00
Πλάτος αναρτήσιμης επιφάνειας	1.50 ÷ 3.00	1.50 ÷ 3.00
Πλάτος αναρτήσιμης επιφάνειας (για οχήματα πάνω από 22 μέτρα)	5.00	5.00
Ταχύτητα οχημάτων σε (km/h)	37 ÷ 39	38 ÷ 39

***Πίνακας 5.1** Διαστάσεις βασικού turbo κυκλικού κόμβου*

5.5 Κίνηση μεγάλου οχήματος σε κυκλικό κόμβο

Ένας αριθμός διλημάτων πρέπει να επιλυθεί κατά την διάρκεια σχεδιασμού ενός κυκλικού κόμβου με ένα από τα πιο σημαντικά να είναι αυτά του πλάτους των λωρίδων. Οι απαιτήσεις ασφάλειας εστιάζουν σε στενές λωρίδες αφού αναγκάζουν τους οδηγούς να μειώσουν ταχύτητα εκτιμώντας ότι τα φορτηγά χρειάζονται αρκετό χώρο να γυρίσουν να διασχίσουν τον κόμβο. Πώς μπορούν όμως αυτές οι εμπλεκόμενες απαιτήσεις να συμβιβαστούν; Η απάντηση κείται στο να συμπεριληφθούν τα παρακάτω στοιχεία στον σχεδιασμό του κόμβου:

- 90° γωνία μεταξύ του σκέλους προσέγγισης και του κυκλοφοριακού δακτυλίου
- Περιορισμός πλάτους του κυκλοφοριακού δακτυλίου (απαίτηση ασφαλείας)
- Ο κεντρικός χώρος ελιγμού προσφέρει επιπλέον χώρο στα φορτηγά χρησιμοποιώντας την εσωτερική λωρίδα (απαίτηση προσβασιμότητας)
- Ο χώρος ελιγμού μεταξύ εισόδου – κυκλικού κόμβου και εξόδου – κυκλικού κόμβου όπου επίσης προσφέρει επιπλέον χώρο για φορτηγά χρησιμοποιώντας την εξωτερική λωρίδα (απαίτηση προσβασιμότητας)

Η κατασκευαστική λεπτομέρεια του χώρου ελιγμού αποτελεί τόσο σημαντικό κομμάτι όσο ο γεωμετρικός του σχεδιασμός. Ο χώρος ελιγμού της κεντρικής νησίδας δεν πρέπει να είναι πολύ απότομος, η κορυφή πρέπει να είναι πιο χαμηλά από αυτήν του δρόμου ώστε να μειώνεται η επιτάχυνση αλλά και οι δυνάμεις για τα βαρέα φορτηγά. Ακόμα πρέπει να υπάρχει απόσταση 7 cm του δρόμου με το υπερυψωμένο

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)

διαχωριστικό ώστε να αποθαρρύνονται τα οχήματα να αλλάξουν απότομα λωρίδα ενώ δεν αποτελεί μεγάλο εμπόδιο για τα φορτηγά. Η εικόνα 5.4 αναπαριστά ένα μεγάλο όχημα μέσα σε κυκλικό κόμβο turbo.



Εικόνα 5.4 Είσοδος μεγάλου οχήματος σε κυκλικό κόμβο turbo

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα – Συστάσεις για περαιτέρω έρευνα

Οι κυκλικοί κόμβοι turbo προσφέρουν καλύτερες συνθήκες ασφάλειας από εκείνες των συμβατικών κυκλικών κόμβων χάρη στο σχήμα της κεντρικής νησίδας, των κυκλοφοριακών λωρίδων, καθώς επίσης και τον φυσικό διαχωρισμό των λωρίδων στις εισόδους και στον κυκλοφοριακό δακτύλιο. Ο πίνακας 6.1 δείχνει μια σφαιρική άποψη για τα συμπεράσματα που βγαίνουν από την διεθνή επιστημονική κοινότητα για την οδική ασφάλεια.

Κυκλικοί κόμβοι με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts)

Χώρα	Συγγραφέας	
Ολλανδία	Fortuijn (2009)	Το ρίσκο τραυματισμού από μία σύγκρουση στους turbo κυκλικούς κόμβους είναι κατά 80% χαμηλότερο απ' ότι στους άλλους τύπους κόμβων πολλαπλών λωρίδων. Κατά 70% αναμένεται συγκρινόμενη των συνθηκών κόμβου μονής λωρίδας.
	VIK (2009)	Ο turbo κυκλικός κόμβος είναι κατά 70% ασφαλέστερος απ' ότι οι διασταυρώσεις χωρίς φωτεινούς σηματοδότες και κατά 50% ασφαλέστερος απ' ότι οι διασταυρώσεις με φωτεινούς σηματοδότες και από 20% έως 40% λιγότεροι ασφαλείς από τους κόμβους μονής λωρίδας.
Ιταλία	Makro Cattoni (2010)	Ο βαθμός βελτίωσης στην ασφάλεια των turbo κυκλικών κόμβων εξαρτάται από την οργάνωση, την ένταση και κατευθυντήρια συγκρότηση της κίνησης και κυμαίνεται από 40% έως 50% για κυκλοφοριακά ατυχήματα και από 20% έως 30% για κυκλοφοριακές συγκρούσεις.
	Giuffre, Guerrieri, Grana (2010)	Μετά την ανακατασκευή 3 διασταυρώσεων σε κυκλικούς κόμβους turbo οι συνθήκες ασφάλειας βελτιώθηκαν ενώ μειώθηκε ιδιαίτερα η ταχύτητα.
Σλοβενία	Tollazzi, Rencelj, Turnsek (2011)	Οι κυκλικοί κόμβοι turbo είναι η λύση όπου χαρακτηρίζονται από υψηλό επίπεδο οδικής ασφάλειας.
Γερμανία	Brilon (2008)	Μηδαμινά κυκλοφοριακά γεγονότα με σοβαρές επιπτώσεις καταγράφηκαν. (ανάλυση από μία τοποθεσία)
Κολομβία	Bulla, Castro (2011)	Οι κυκλικοί κόμβοι turbo εκθέτουν βελτίωση οδικής ασφάλειας κατά 22%
Πολωνία	Σελίδα web	Μετά από ανακατασκευή ενός κυκλικού κόμβου σε κυκλικό κόμβο turbo με διαχωριστικά λωρίδας ο αριθμός των συγκρούσεων μειώθηκε κατά 80%.
	Macioszek (2013)	Γενικά καταγράφηκε υψηλό επίπεδο οδικής ασφάλειας, αναφέρθηκαν μηδαμινά θανατηφόρα ατυχήματα κατά την περίοδο της ανάλυσης. Τα πιο συνήθη γεγονότα είναι: συγκρούσεις, οδήγηση σε ένα απροσδόκητο

		εμπόδιο, πλευρικές επιδράσεις και ανατροπές. Οι πιο σημαντικοί λόγοι των οδικών περιστατικών: μη παράδοση προτεραιότητας, περίσσια ταχύτητα, έλλειψη ασφαλής απόστασης, αλλαγή λωρίδας παρανόμως.
--	--	---

Πίνακας 6.1 Τα συμπεράσματα της διεθνής επιστημονικής κοινότητας περί ασφάλειας στους turbo κυκλικούς κόμβους

Είναι πολύ σημαντικό ότι αυτός ο συγκεκριμένος τύπος κόμβου μειώνει τα σημεία εμπλοκής και βελτιώνει την οδική ασφάλεια όχι μόνο των οδηγών και επιβατών αλλά επίσης και των πεζών. Πέρα της ασφάλειας οι κυκλικοί κόμβοι turbo προσφέρουν υψηλότερη χωρητικότητα από τους συνήθεις κυκλικούς κόμβους καθώς μετά από μελέτες που αναπτύχθηκαν περί μετατροπής συμβατικών κόμβων σε turbo έδειξαν ικανοποιητικά μεγέθη.

Επίσης οι κυκλικοί κόμβοι συμβάλλουν:

- στο υψηλό επίπεδο κυκλοφοριακής εξυπηρέτησης τόσο για τους οδηγούς όσο και για τους πεζούς
- στην καλύτερη διαχείριση της ταχύτητας
- στην βελτίωση των χαρακτηριστικών των οδών
- μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και της παραγωγής ρύπων

6.1 Συστάσεις για περαιτέρω έρευνα

Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των κυκλικών κόμβων turbo είναι ο φυσικός διαχωρισμός λωρίδας που αποτρέπει τους οδηγούς την αλλαγή λωρίδας μέσα στον κόμβο. Οι προσομοιωτές που χρησιμοποιούνται δεν μπορούν να αναπαράγουν την δυσφορία που νοιώθουν οι οδηγοί όταν διασχίζουν τα διαχωριστικά λωρίδας. Έτσι περαιτέρω έρευνα πρέπει να γίνει στο πώς αυτά επιδρούν στην συμπεριφορά των οδηγών όπως είναι η διατήρηση λωρίδας εντός του κυκλικού κόμβου turbo.

Θα ήταν ωφέλιμο να μελετηθεί πώς οι οδηγοί συμπεριφέρονται στους turbo κυκλικούς κόμβους και στους σύγχρονους κυκλικούς κόμβους σε διαφορετικά επίπεδα κίνησης. Για μια τέτοια μελέτη ο έλεγχος της κυκλοφοριακής πυκνότητας δεν μπορεί να επιτευχθεί αφού οι οδηγοί συναντούν τυχαίες συνθήκες κίνησης. Η επίδραση χρήσης καλύτερης συμπεριφοράς του οχήματος όπως παραδείγματος χάρι

η συμπεριφορά προτεραιότητας στον κόμβο χρησιμοποιώντας ένα λογισμικό σε περίπλοκες διασταυρώσεις είναι άξια μελέτης.

Ακόμα προτείνεται περαιτέρω έρευνα γενικά πάνω στο θέμα των κυκλικών κόμβων turbo όπου τείνει να γίνει μόνιμος αντικαταστάτης των κυκλικών κόμβων διπλής λωρίδας σε Ολλανδία και Γερμανία λόγω των αξιόλογων πλεονεκτημάτων. Θα ήταν επίσης δυνατό να αναπτυχθεί ένα πρόγραμμα Η/Υ που θα διευκολύνει την διαδικασία σχεδιασμού και βελτιστοποίησης της τελικής διαμόρφωσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. Tomaž Tollazzi «Alternative types of roundabouts: An information guide», 2014
- [2]. Tomaž Tollazzi, full professor, Split university, «Planning and designing of the turbo roundabouts»
- [3]. Werner Brilon, professor, Ruhr university «Roundabouts: A state of the art in Germany»
- [4]. Giuffrè Orazio full professor, Marco Guerrieri postdoctoral researcher, Anna Granà assistant professor Palermo university «Turbo-roundabout general design criteria and functional principles: case studies from real world»
- [5]. Werner Brilon, professor, Ruhr university «Turbo-roundabouts- an experience from Netherlands and Germany», 2011
- [6]. Lambertus G.H. Fortuijn «Turbo-roundabouts: Design principles and safety performance», TRB paper # 09-2476
- [7]. Giuffrè Orazio, Anna Granà, Sergio Marino, university of Palermo «Comparing performances of turbo-roundabouts and double-lane roundabouts», modern applied science, volume 6, no 10, 2012
- [8]. Massimiliano Gastaldi, Claudio Meneguzer, Ricardo Rossi, Luca della Lucia, Gregorio Gechele, university of Padova «Evaluation of air pollution, impacts of a signal control to roundabout conversion using microsimulation», July 2014
- [9]. P. Fernandes, S.R. Pereira, J.M. Bandeira, L. Vasconcelos, A. Bastos Silva, M.C. Coelho «Driving around turbo-roundabouts vs conventional roundabouts. Are there advantages regarding pollutant emissions? », April 2016
- [10]. Steven Chan, Robert Livingston «Design vehicle's influence to the geometric design of turbo – roundabouts», April 2014
- [11]. Ευτέρπη Δαμασκού «Κυκλικοί κόμβοι Διαμόρφωση διαδικασίας αξιολόγησης σχεδιασμού κυκλικών κόμβων», διπλωματική εργασία Αριστοτέλειο πανεπιστήμιο
- [12]. Καλογεράκη Μαριάννα «Ανάπτυξη λογισμικού Η/Υ για τον σχεδιασμό σπειροειδούς κόμβου», διπλωματική εργασία, Μετσόβιο Πολυτεχνείο

- [13]. Luis Vasconcelos, Anna Bastos Silva, Alvaro Maia Seco, Paulo Fernandes, Margarida Coelho «Turbo- roundabouts: Multicriterion assessment on intersection capacity, safety and emissions», January 2014
- [14]. US department of transportation, «Roundabouts: An information guide»
- [15]. Rogier R.M. Hoek, «Signalized turbo roundabouts A study into the applicability of traffic signals on turbo roundabouts», TU Delft, July 2013
- [16]. Florida department of transportation «Florida intersection design guide 2015»
- [17]. Jasunz Chodur, Radoslaw Bak, Cracow university «Study of driver behavior at turbo-roundabouts», archives of transport volume 38, issue 2, 2016
- [18]. J.C. Engelsman, M. Uken «Turbo roundabouts as an alternative to two lane roundabouts», July 2007
- [19]. Δημήτρης Νίκου «Γεωμετρικός σχεδιασμός ισόπεδων κυκλικών κόμβων» Μετσόβιο πολυτεχνείο, Ιούλιο 2012
- [20]. Philip Weber «Roundabout signs», paper June 2008
- [21]. Ζήσης Γρηγόρης, Καρκανιάς Χρήστος, Κουκουνάφης Γιώργος «Σύγκριση διεθνών προδιαγραφών για κυκλικούς κόμβους»
- [22]. O. Giuffrè, A. Granà, S. Marino «Turbo-roundabouts vs roundabout performance level», 2012
- [23]. Royal Haskoning «Roundabouts- Application and design A practical manual», June 2009
- [24]. Mark Lenters «Safety auditing roundabouts», September 2004
- [25]. Ana Bastos Silva, Silvia Santos, Marco Gaspar, university of Coimbra «Turbo-roundabout use and design»
- [26]. E. Macioszek «Turbo roundabouts signing and marking – current situation in Poland», volume 6, issue 1, February 2013
- [27]. Tim Murphy «The turbo roundabout A first in north America», 2015
- [28]. Ferdinando Corriere, Marco Guerrieri «Performance analysis of basic turbo-roundabouts in urban context», 2012
- [29]. Tomaž Tollazzi, Sašo Turnsek, Marko Renčelj «Slovenian experiences with turbo-roundabouts», 2012

- [30]. Elisha Jackson Wanvogene, Western Michigan university «Virtual analysis and evaluation of roundabout safety and operational features», διπλωματική εργασία, 2014
- [31]. Tomaž Tollazzi, Rafaele Mauro, Marco Guerrieri, Marko Rencelj «Comparative analysis of 4 new alternative types of roundabouts: Turbo, flower, target and four-flyover roundabouts», 2015
- [32]. M. Guerrieri, D. Ticali, F. Corriere «Turbo roundabouts: geometric designs and parameters analysis», volume 2,number 1, April 2012
- [33]. Elizabeta Macioszek «The road safety at turbo roundabout in Poland», volume 33, issue 1, 2015
- [34]. Tamara Džambas, Saša Ahac, Vesna Dragčević «Geometric design of turbo roundabouts», 2017
- [35]. Department of main road, road planning and design manual chapter 14 roundabouts, January 2006